

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КАРЬЕРНОГО САМОСВАЛА KOMATSU

П. А. Бахолдин¹, Д. А. Бахолдин¹, А. А. Чернов¹, И. И. Сингизин¹

¹ Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

Аннотация: Влияние параметров карьерных самосвалов и внешних условий эксплуатации при горной добыче, такие как качество дорожного полотна, тип транспортного средства и его массогабаритные показатели, необходимо учитывать при разработке основных компонентов самосвала, к которым относится электромагнитный гаситель колебаний. Для определения энергетических параметров на различных участках дорожного полотна была разработана математическая имитационная модель транспортного средства в среде программирования MATLAB Simulink. Проведен ряд экспериментов с использованием данных, полученных в результате трехмерного сканирования реального участка дорожного полотна карьерной трассы, в рамках требований современных ездовых циклов. Результаты проведенного моделирования позволили определить базовые расчетные характеристики электромагнитного гасителя колебаний. Получены зависимости параметров работы гасителя от массы транспортного средства и скорости его движения. Энергетическая эффективность системы определялась при использовании транспортного средства на щебеночных дорогах, имеющих различный индекс ровности дорожных покрытий. Характер профиля дорожного полотна в условиях горнодобывающих производств предполагает движение транспортных средств в режиме постоянного преодоления неровностей, спусков и подъемов. Рекуперация энергии гашения колебаний кузова, как пассажирского транспорта, так и тяжелой техники, позволит значительно повысить энергетическую эффективность горного транспортного комплекса при существующем состоянии карьерной дорожной сети.

Ключевые слова: карьерный транспорт, горнодобывающая промышленность, электромагнитный гаситель колебаний, имитационное моделирование, международный индекс ровности дорожных покрытий, энергоэффективность, рекуперация энергии, активная подвеска транспортного средства.

Для цитирования: Бахолдин П. А., Бахолдин Д. А., Чернов А. А., Сингизин И. И. Определение энергетических параметров карьерного самосвала Komatsu // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 12-2. – С. 47–57. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_122_0_47.

To the issue of determining energy parameters of vehicle electromagnetic shock absorber

P. A. Bakholdin¹, D. A. Bakholdin¹, A. A. Chernov¹, I. I. Singizhin¹

¹ Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

Abstract: The influence of vehicle parameters and external operating conditions such as roadway quality, vehicle type and its weight and size shall be taken into account when designing an

electromagnetic shock absorber. To determine energy parameters on various roadway sections, a mathematical simulation model of the vehicle was developed in the MATLAB Simulink programming environment. A number of experiments were carried out using data obtained from a three-dimensional scan of a real roadway section, within the requirements of modern driving cycles. The simulation results made it possible to determine the basic design characteristics of the electromagnetic shock absorber. Dependencies of shock absorber operation parameters on vehicle weight and speed of its movement are obtained. The energy efficiency of the system was determined using a vehicle on roads having a different road surface evenness index.

Key words: electromagnetic shock absorber, simulation modeling, international road surface evenness index, energy efficiency, energy recovery, active vehicle suspension.

For citation: Bakholdin P. A., Bakholdin D. A., Chernov A. A., Singizin I. I. To the issue of determining energy parameters of vehicle electromagnetic shock absorber. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(12-2):47–57. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_122_0_47.

1. Введение

Основная функция системы подвески транспортного средства состоит в том, чтобы изолировать кузов транспортного средства и пассажиров от колебаний, создаваемых неровностями дороги, и обеспечить непрерывный контакт колеса с дорогой.

Обычно используются три типа подвески транспортных средств: пассивная, полуактивная и активная. Все известные системы, реализованные в автомобилях, основаны на гидравлическом или пневматическом управлении. Однако подтверждено, что эти решения не могут удовлетворительно решить проблему колебаний транспортных средств, или они очень дороги и способствуют увеличению потребления энергии транспортными средствами. Одним из возможных решений является использование электромагнитных приводов для повышения производительности подвесных систем без увеличения энергопотребления и затрат. Все упомянутые типы систем подвески могут быть построены с использованием электромагнитных приводов. Другим преимуществом электромагнитных подвесок является возможность работы в генераторном режиме, что позволяет рекуперировать энергию колебаний кузова автомобиля.

Подвеска карьерного самосвала Komatsu eDumper — одна из важнейших систем, обеспечивающих основные эксплуатационные характеристики, такие как управляемость и устойчивость карьерного горного транспорта, маневренность и обеспечение плавности хода. В качестве одного из наиболее перспективных видов автомобильных подвесок стоит выделить так называемую электромагнитную подвеску, в которой электропривод может не только использоваться как гаситель колебаний, но и частично замещать функции упругих элементов. Существуют несколько вариантов исполнения данного типа подвесок, различающиеся по устройству гасителя колебаний, позволяющие осуществить рекуперацию энергии, затраченной тяговым электроприводом при движении транспортного средства, что способствует повышению общей энергетической эффективности карьерного самосвала Komatsu eDumper (табл.).

С целью разработки системы управления электромагнитной подвеской была создана имитационная математическая модель подвески карьерного самосвала Komatsu eDumper в среде моделирования MATLAB Simulink. Определение характеристик модели необходимо начать с разработки ими-

Таблица
Типы подвесок
Types of suspensions

Тип подвески	Применение	Достоинства	Недостатки
Фрикционные	– в мотор-вагонном подвижном составе; – на грузовом транспорте	– постоянная или переменная величина сил трения, зависящая от величины и направления перемещения	– наличие трущихся элементов; – постоянный износ элементов и их замена
Гидравлические	– железнодорожный и автомобильный транспорт	– сохранение рабочих параметров на протяжении всего срока эксплуатации	– вспенивание рабочей жидкости; – наличие трущихся соединений, требующих герметичности
Газонаполненные	– железнодорожный и автомобильный транспорт	– сниженная вероятность вспенивания рабочей жидкости; – различные варианты установки относительно штока	– вспенивание рабочей жидкости; – наличие трущихся соединений, требующих герметичности
Регулируемые	– автомобили премиум- и бизнес-класса	– возможность выбора режима работы подвески во время движения	– высокая стоимость как самого гасителя колебаний, так и рабочей жидкости
Электромагнитные	– актуально использовать практически на всех видах транспорта	– возможность осуществления генераторного режима подвески; – возможность моментального изменения рабочих характеристик гасителя колебания	– стоимость изготовления; – необходимость использования системы управления

тационной модели пассивной подвески и впоследствии модернизировать имеющуюся модель в активную. Под пассивной подвеской в данном случае следует понимать возможность работы подвески только как гасителя колебаний с изменяемыми характеристиками.

Математическая имитационная модель системы управления электромагнитной подвеской необходима для разработки и отладки физической модели электромагнитного гасителя колебаний. Для таких технических систем с целью получения аналитической математической модели исследователь накладывает ряд ограничений на модель и прибегает к упрощениям.

При этом пренебрегают вторичными для поставленной задачи особенностями технической системы, значительно сократив объем обрабатываемой информации [1,2].

Для создания практической и функциональной имитационной модели была выбрана среда графического программирования Simulink на основе MATLAB. Данная среда имеет подходящие библиотеки, направленные на создание сложных имитационных моделей различных узлов. Также для контроля оценки результатов данная среда моделирования имеет возможность визуализации объектов при помощи библиотек Unreal Engine Scenario Simulation.

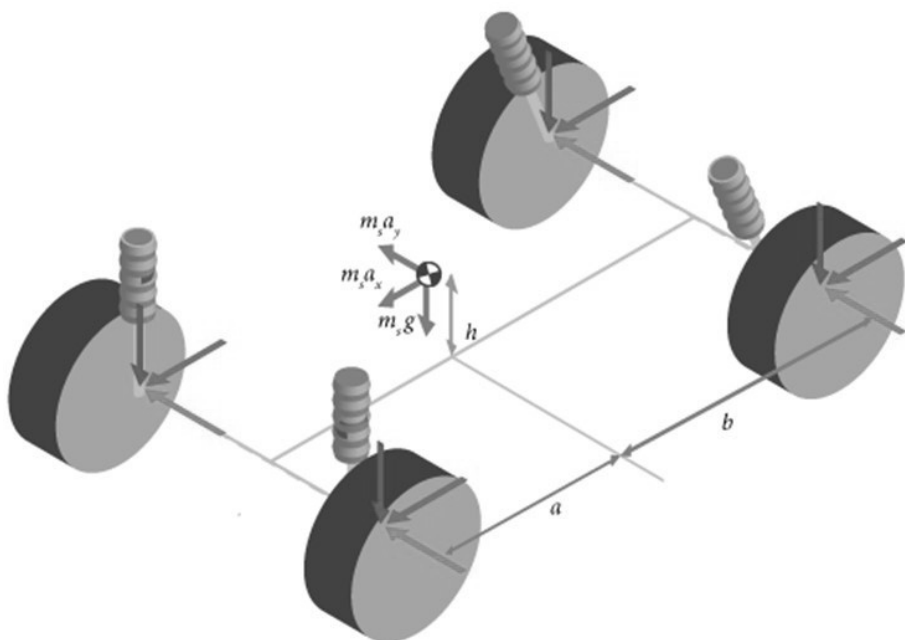


Рис. 1. Пример визуализации работы имитационной модели подвески карьерного самосвала Komatsu eDumper в среде Unreal Engine Scenario Simulation

Fig. 1. An example of visualization of the simulation model of the suspension of a mining dump truck Komatsu eDumper in the Unreal Engine Scenario Simulation environment

При разработке модели электромагнитной подвески (рис. 1) карьерного самосвала Komatsu eDumper [3,4] предполагается, что неровности пути передают воздействие на колеса транспортного средства посредством линейных электроприводов. Для этого применялись специализированные блоки библиотек MATLAB Simulink, которые были настроены для соответствия различным параметрам элементов подвески и распределения масс по осям для карьерного самосвала Komatsu eDumper

Разработанная имитационная модель позволяет учитывать взаимодействие и влияние на исследуемую систему следующих параметров:

- конструкции силовых элементов подвески;
- тягового привода;
- тормозной системы;

- различных вариантов загрузки карьерного самосвала Komatsu eDumper;

- неровностей путевой структуры и уклона;

- маневрирования;

- различных режимов движения;

- направления и скорости ветра;

- давления в шинах.

Используемые блоки учитывают различные системы упругого подвешивания и влияние стабилизатора поперечной устойчивости.

2. Моделирование колеса и шины карьерного самосвала

Блок Combined Slip Wheel (рис. 2) моделирует продольные и боковые реакции колеса. На основе крутящего момента тягового электродвигателя, тормозных механизмов, параметров дорожного полотна и величины про-

гиба колеса блок определяет частоту вращения колеса, сопротивление качению, вертикальное перемещение, силы, и моменты в шести степенях свободы. Данные свойства позволяют изучать переходные процессы в подвеске карьерного самосвала Komatsu eDumper, возникающие при эксплуатации транспорта.

3. Характеристики дорожного профиля

Для имитации дорожного полотна применялись различные методы:

- трехмерное сканирование участка пути для получения параметров неровностей [4];

- использование статистических данных в соответствии с индексом ровности дороги IRI.

Международный индекс ровности IRI (International Roughness Index), который используют все страны Таможенного союза, как в период строительства дороги, так и в период ее эксплуатации, представляет собой отношение величины суммарного перемещения неподрессоренной массы автомобиля относительно поддрессоренной массы к длине участка дороги (м/км или мм/м). Он определяется расчетом в результате моделирования движения по микропрофилю $\frac{1}{4}$ части эталонного автомобиля со скоростью 80 км/ч [5,6].

Показатель IRI является логическим развитием понятия ровности по толчком, но не обладает его существенными недостатками — зависимостью показаний толчкомера от особенностей подвески используемого автомобиля.

С целью имитации дорожного полотна также использовались данные, полученные в ходе сканирования дорожного полотна различных участков федеральных и региональных дорог Сибирского федерального округа (рис. 3) [7]. Для этих целей использо-

вались результаты мобильного картографирования при помощи лазерного сканера (лидара).

4. Результаты имитационного моделирования

В ходе эксперимента было рассмотрено влияние на выходную мощность и усилие на гасителе колебаний массогабаритных параметров карьерного самосвала Komatsu eDumper и качества путевой структуры.

Анализ представленных на рис. 4 и 5 данных и их последующая обработка позволили получить среднее значение усилия на электромагнитном гасителе колебаний расчетного карьерного самосвала Komatsu eDumper при движении по дорожному покрытию I и II категории. Кривая нормального распределения нагрузки на гасителе колебаний представлена на рис. 6.

Также были определены зависимости энергоэффективности гасителя коле-

баний

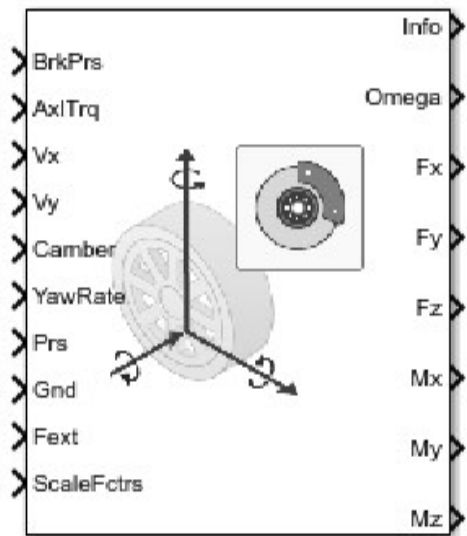


Рис. 2. Блок Combined Slip Wheel библиотеки Vehicle Dynamics Blockset

Fig. 2. Combined Slip Wheel block of Vehicle Dynamics Blockset library

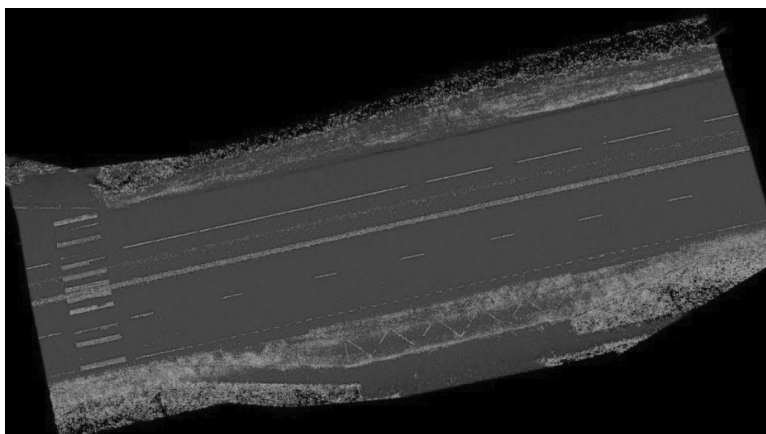


Рис. 3. Пример профиля дорожного полотна (программа КРЕДО 3D СКАН)

Fig. 3. An example of a roadbed profile (CREDO 3D SCAN software)

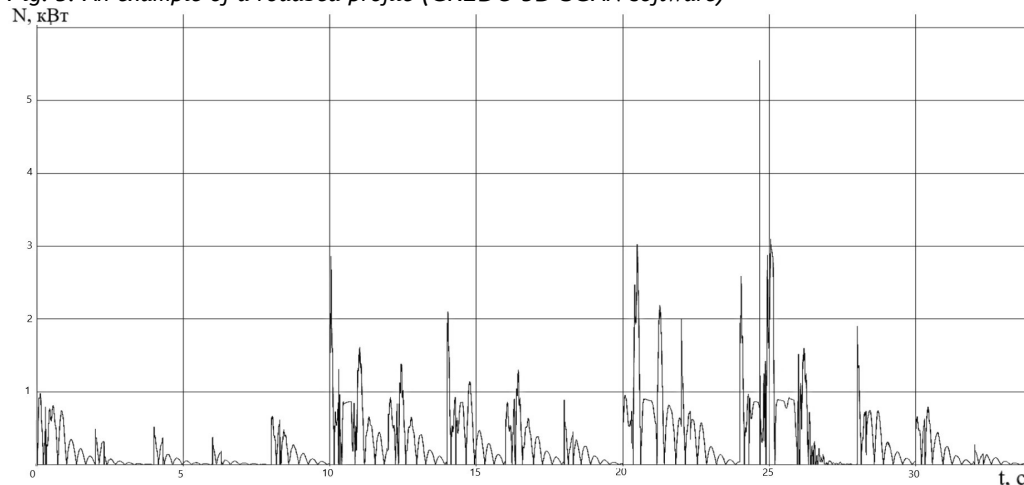


Рис. 4. Фрагмент осциллограммы мощности, выделяемой гасителем колебаний карьерного самосвала

Fig. 4. Oscillogram of shock absorber power

баний при различных ездовых циклах карьерного самосвала Komatsu eDumper.

На рис. 7 показан рост поглощаемой гасителем колебаний мощности при росте скорости движения в диапазоне от 35 до 110 км/ч. Аналогичным образом выглядит зависимость мощности от массы транспортного средства в диапазоне от 6 до 14 т, представленная на рис. 8. Данный эффект объясняется как ростом отношения подрессоренной массы к неподдресоренной, так и изме-

нением частоты и амплитуды колебаний элементов подвески [8].

Зависимости, полученные в результате имитационного моделирования, аналогичны зависимостям, полученным в результате экспериментов при эксплуатации карьерных самосвалов Komatsu eDumper.

5. Заключение

Результаты проведенной работы позволили определить базовые расчет-

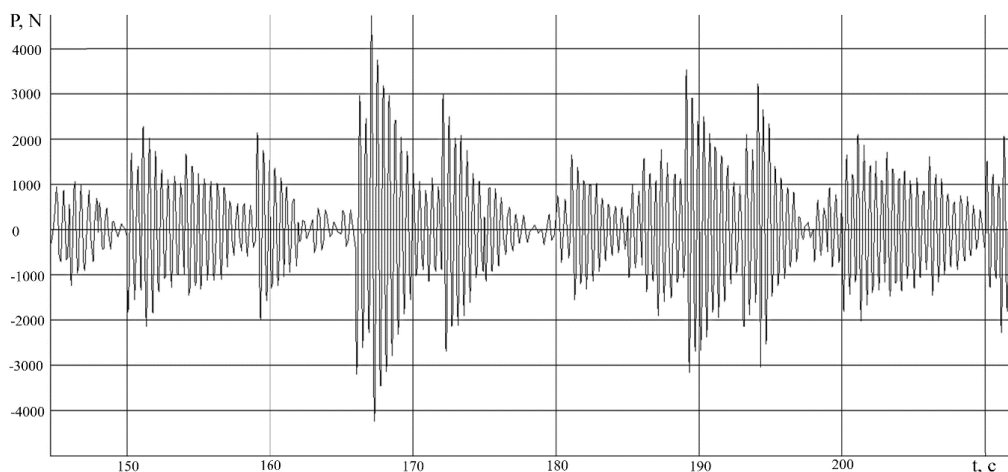


Рис. 5. Фрагмент осциллограммы нагрузки гасителя колебаний карьерного самосвала
 Fig. 5. Oscillogram fragment of shock absorber load

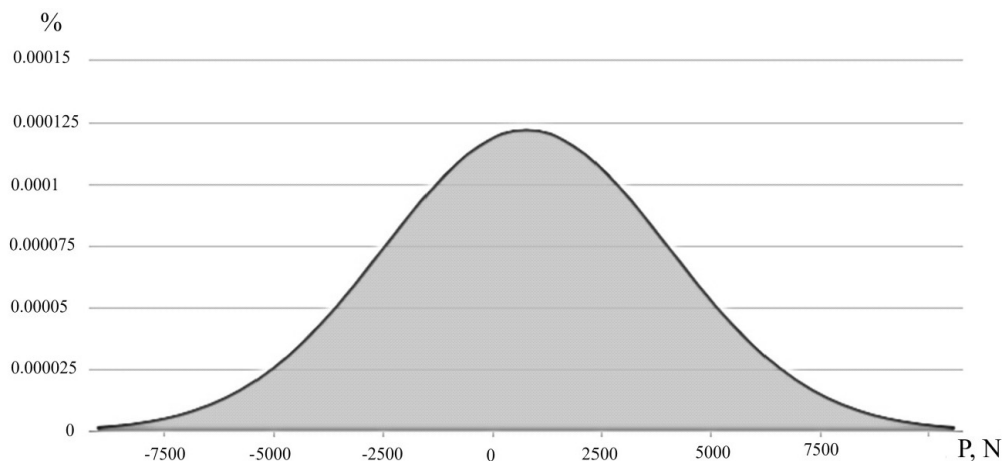


Рис. 6. Кривая нормального распределения нагрузки на гасителе
 Fig. 6. Normal load distribution curve on damper

ные характеристики электромагнитного гасителя колебаний карьерного самосвала Komatsu eDumper.

Моделирование электромагнитного гасителя колебаний позволяет обработать как статистические показатели неровности дорожного полотна, так и данные, полученные путем трехмерного сканирования реального участка пути.

Получены зависимости параметров работы гасителя от массы карьерного самосвала Komatsu eDumper и скорости

его движения. Энергетическая эффективность системы определялась при использовании транспортного средства на дорогах, имеющих различный индекс ровности дорожных покрытий.

Характер профиля дорожного полотна в условиях горнодобывающих производств предполагает движение карьерных самосвалов Komatsu eDumper в режиме постоянного преодоления неровностей, спусков и подъемов. Рекуперация энергии гашения

колебаний кузова позволит значительно повысить энергетическую эффектив-

ность карьерных самосвалов Komatsu eDumper, используемых в горном деле.

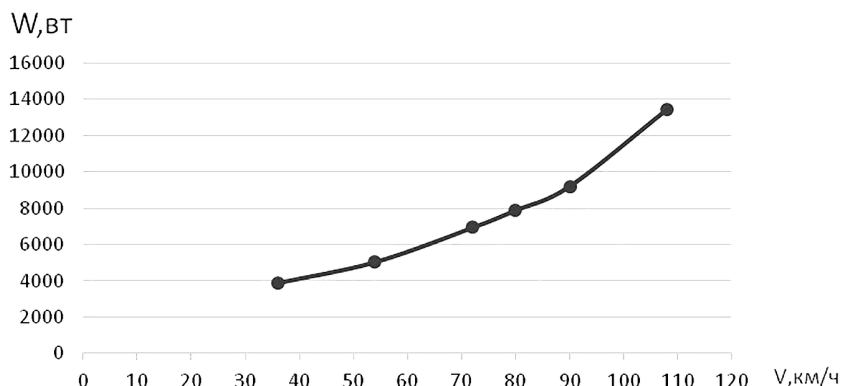


Рис. 7. Зависимость мощности на амортизаторе от скорости движения

Fig. 7. Power dependence on shock absorber on movement speed

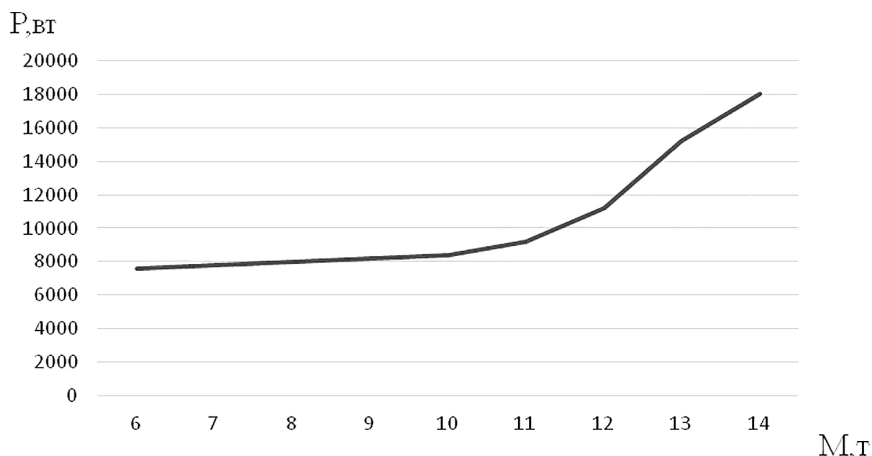


Рис. 8. Зависимость мощности на амортизаторе от массы ТС (при движении со скоростью до 80 км/ч)

Fig. 8. Power dependence on shock absorber on vehicle mass (at speed of 80 km / h)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Causemann P. Moderne Schwingungs-d"ampfung // Automobiltechnische Zeitung, 2003, vol. 105, pp.1072–1079.
2. Доморозов А. Н., Нгуен Ван Ньянь. Анализ методов диагностирования технического состояния систем подвесок АТС на современных вибростендах // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2010. – №5(45). – С.131–134.
3. Рязанцев В. И., Альсаламех Бальсам. Стабилизация вертикальной реакции дороги на колесо при движении по периодическому профилю дороги // Известия МГТУ «МАМИ» (Научный рецензируемый журнал). – 2016. – № 4(30). – С.57–65.
4. Yoshimura T., Matumura S., Kurimoto M., Hino J. Active suspension system of one-wheel car models using the sliding mode control with VSS observer // International Journal of Vehicle Autonomous Systems. 2002, vol. 1(1), pp. 133–152.

5. Пономаренко М. Р., Кутепов Ю. И., Волков М. А., Гринюк А. П. Космические методы в составе комплексного деформационного мониторинга земной поверхности горного предприятия // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 12. – С. 103–113. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-12-0-103-113.

6. Кучинская Г., Ставская М. Применение наземного лазерного сканирования в современных условиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 1. – С. 160–169. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-1-0-160-169.

7. Мислибаев И. Т., Махмудов А. М., Махмудов Ш. А. Теоретическое обобщение режимов функционирования и моделирование эксплуатационных показателей работы экскаваторов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 1. – С. 102–110. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-1-0-102-110.

8. Бригадин И. В., Возгрин Р. А., Краснов С. А., Торопов А. Ю. Модель движения транспортного средства в карьерах по непрофилированному дорожному полотну // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018 – № 2. – С. 168–174. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-2-0-168-174.

9. Хазин М. Л., Апакашев Р. А. Карьерные самосвалы на водородном топливе // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 1. – С. 47–59. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_1_0_47.

10. Kulikov K. I., Schurov N. I. Vehicle energy consumption as factor of combined power plant parameters' definition // Journal of Physics: Conference Series. International Conference on Information Technology in Business and Industry (ITBI 2020), Novosibirsk. 2020, vol. 1661, art. 012146 (6 p.) DOI: 10.1088/1742-6596/1661/1/012146.

11. Сарычев Д. С. Мобильное лазерное сканирование // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2013. – № 1(1). – С. 36–41. – EDN RZKNSB.

12. Щуров Н. И., Бахолдин П. А. Активная электромагнитная подвеска транспортного средства // Актуальные проблемы электронного приборостроения (АПЭП–2018). Тр. 14 междунар. науч.-техн. конф.: В 8 т. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2018. – Т. 1. – Ч. 5. – С. 399–401. DOI: 10.1109/APEIE.2018.8545214.

13. Бахолдин П. А. Щуров Н. И. Рожкова М. В. Определение энергии рекуперации электромагнитной подвески автономного транспортного средства // Актуальные проблемы электронного приборостроения (АПЭП–2018). Тр. 14 Междунар. науч.-техн. конф.: В 8 т. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2018. – Т. 1. – Ч. 5. – С. 48–51. DOI: 10.1109/APEIE.2018.8546226.

14. Щуров Н. И., Бахолдин П. А., Бахолдин Д. А. Энергетические показатели электромагнитного гасителя колебаний транспортного средства // Доклады АН ВШ РФ. – 2021. – № 2 (51). – С. 53–62. DOI: 10.17212/1727-2769-2021-2-53-62.

15. Zhang P., Deng Z., Liang L., Wang L., Ke Z., Lv C., Li Z., Wu X., Vibration Suppression of HTS Maglev System Based on Negative Resistance Electromagnetic Shunt Damper // IEEE Transactions on Applied Superconductivity. 2022, vol. 32, no. 6, pp. 1–5, art 3601005. DOI: 10.1109/TASC.2022.3154330.


16. Zhang R. and Han C. Research on the Principle of Arm Torsion Electromagnetic Active Suspension // 6th International Conference on Control and Robotics Engineering (ICCRE). 2021, pp. 96–100. DOI: 10.1109/ICCRE51898.2021.9435726.

17. Sun X., Wu M., Yin C. and Wang S. Model Predictive Thrust Force Control for Linear Motor Actuator used in Active Suspension // IEEE Transactions on Energy Conversion. 2021, vol. 36, no. 4, pp. 3063–3072. DOI: 10.1109/TEC.2021.3069843.

18. Kopylov S., Chen Z. and Abdelkareem M. A. A. Implementation of an Electromagnetic Regenerative Tuned Mass Damper in a Vehicle Suspension System // IEEE Access. 2020, vol. 8, pp. 110153–110163. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3002275.

19. Meng X., Wang R., Ding R. and Chen L. Optimal Design and Experimental Research on a New Hybrid Electromagnetic Actuator for Vehicles // IEEE Access. 2020, vol. 8, pp. 95768–95778. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2962529.

20. Stotckaia A. D., Dubrovin A. E. and Belskii G. V. Development of an Electromagnetic Suspension Measuring System // III International Conference on Control in Technical Systems (CTS). 2019, pp. 253–256. DOI: 10.1109/CTS48763.2019.8973358.

21. Bakholdin D. A., Biryukov V. V., Tolstobrova L. I. Determining parameters of electric power unit for light aircraft // Advances in Engineering Research.: Actual issues of mechanical engineering, AIME 2018, Novosibirsk. 2018, vol. 157, pp. 65–69. DOI: 10.2991/aime-18.2018.13. 

REFERENCES

1. Causemann P. Moderne Schwingungs-dämpfung. *Automobiltechnische Zeitung*. 2003, vol. 105, pp.1072–1079.

2. Domorozov A. N., Nguyen Van Nian. Analysis of methods for diagnosing the technical condition of suspension systems of automatic telephone exchanges on modern vibration stands. *Bulletin of the Irkutsk State Technical University*. 2010, no. 5(45), pp.131–134. [In Russ].

3. Ryazantsev V. I., Alsalameh Balsam. Stabilization of the vertical reaction of the road to the wheel when driving along a periodic road profile. *Izvestiya MSTU “MAMI” (Scientific peer-reviewed journal)*. 2016, no. 4(30). pp. 57–65. [In Russ].

4. Yoshimura T., Matumura S., Kurimoto M., Hino J. Active suspension system of one-wheel car models using the sliding mode control with VSS observer. *International Journal of Vehicle Autonomous Systems*. 2002, vol. 1(1), pp. 133–152.

5. Ponomarenko M. R., Kutepov Yu. I., Volkov M. A., Grinyuk A. P. Space methods as part of complex deformation monitoring of the earth’s surface of a mining enterprise. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 12, pp. 103–113. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-12-0-103–113. [In Russ].

6. Kuchinskaya G., Stavskaya M. Application of terrestrial laser scanning in modern conditions. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 1, pp. 160–169. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-1-0-160–169. [In Russ].

7. Mislibaev I. T., Makhmudov A. M., Makhmudov Sh. A. Theoretical generalization of operating modes and modeling of operational performance of excavators. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 1, pp. 102–110. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-1-0-102–110. [In Russ].

8. Brigadin I. V., Vozgrin R. A., Krasnov S. A., Toropov A. Yu. Model of vehicle movement in quarries on an unprofiled roadway. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no. 2, pp. 168–174. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-2-0-168–174.

9. Khazin M. L., Apakashev R. A. Mining dump trucks running on hydrogen fuel. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 1, pp. 47–59. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_1_0_47. [In Russ].

10. Kulikov K. I., Schurov N. I. Vehicle energy consumption as factor of combined power plant parameters’ definition. *Journal of Physics: Conference Series. International Conference on Information Technology in Business and Industry (ITBI 2020), Novosibirsk*. 2020, vol. 1661, art. 012146 (6 p.) DOI: 10.1088/1742–6596/1661/1/012146.

11. Sarychev D. S. Mobile laser scanning. *CAD and GIS of highways*. 2013, no. 1(1), pp. 36–41. [In Russ].

12. Shchurov N. I., Bakholdin P. A. Active electromagnetic suspension of a vehicle. *Actual problems of electronic instrument engineering (APEIE–2018). Tr. 14 int. sci.-tech. Conf.*, in 8 vols. Novosibirsk, Publishing house of NSTU. 2018, vol. 1, part 5, pp. 399–401. [In Russ]. DOI: 10.1109/APEIE.2018.8545214.

13. Bakholdin P. A., Shchurov N. I., Rozhkova M. V. Determination of the recuperation energy of the electromagnetic suspension of an autonomous vehicle. *Actual problems of electronic instrument engineering (APEIE–2018) : Tr. 14 int. sci.-tech. Conf.*, in 8 vols.

Novosibirsk, Publishing house of NGTU. 2018, vol. 1, part 5, pp. 48–51. [In Russ]. DOI: 10.1109/APEIE.2018.8546226.

14. Shchurov N. I., Bakhholdin P. A., Bakhholdin D. A. Energy parameters of the vehicle electromagnetic shock absorber. *Proceedings of the Russian higher school Academy of sciences*. 2021, no. 2 (51), pp. 53–62. [In Russ]. DOI: 10.17212/1727-2769-2021-2-53-62.

15. Zhang P., Deng Z., Liang L., Wang L., Ke Z., Lv C., Li Z., Wu X., Vibration Suppression of HTS Maglev System Based on Negative Resistance Electromagnetic Shunt Damper. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*. 2022, vol. 32, no. 6, pp. 1–5, art 3601005. DOI: 10.1109/TASC.2022.3154330.

16. Zhang R. and Han C. Research on the Principle of Arm Torsion Electromagnetic Active Suspension. *6th International Conference on Control and Robotics Engineering (ICCRE)*. 2021, pp. 96–100. DOI: 10.1109/ICCRE51898.2021.9435726.

17. Sun X., Wu M., Yin C. and Wang S. Model Predictive Thrust Force Control for Linear Motor Actuator used in Active Suspension. *IEEE Transactions on Energy Conversion*. 2021, vol. 36, no. 4, pp. 3063–3072. DOI: 10.1109/TEC.2021.3069843.

18. Kopylov S., Chen Z. and Abdelkareem M. A. A. Implementation of an Electromagnetic Regenerative Tuned Mass Damper in a Vehicle Suspension System. *IEEE Access*. 2020, vol. 8, pp. 110153–110163. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3002275.

19. Meng X., Wang R., Ding R. and Chen L. Optimal Design and Experimental Research on a New Hybrid Electromagnetic Actuator for Vehicles. *IEEE Access*. 2020, vol. 8, pp. 95768–95778. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2962529.

20. Stotckaia A. D., Dubrovin A. E. and Belskii G. V. Development of an Electromagnetic Suspension Measuring System. *III International Conference on Control in Technical Systems (CTS)*. 2019, pp. 253–256. DOI: 10.1109/CTS48763.2019.8973358.

21. Bakhholdin D. A., Biryukov V. V., Tolstobrova L. I. Determining parameters of electric power unit for light aircraft. *Advances in Engineering Research.: Actual issues of mechanical engineering, AIME 2018, Novosibirsk*. 2018, vol. 157, pp. 65–69. DOI: 10.2991/aime-18.2018.13.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Бахолдин Павел Андреевич*¹ — аспирант, e-mail: pavel.bakhholdin54@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5232-8911;

*Бахолдин Дмитрий Андреевич*¹ — аспирант, e-mail: baholdin@ngs.ru, ORCID: 0000-0002-8722-3420;

*Чернов Алексей Александрович*¹ — младший научный сотрудник, e-mail: Al-exxxe-y@mail.ru;

*Сингизин Игорь Иванович*¹ — аспирант, e-mail: igsing@yandex.ru;

¹ Новосибирский государственный технический университет.

Для контактов: *Бахолдин Павел Андреевич*, e-mail: pavel.bakhholdin54@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Bakhholdin P. A.*¹, PhD student, e-mail: pavel.bakhholdin54@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5232-8911;

*Bakhholdin D. A.*¹, PhD student, e-mail: baholdin@ngs.ru, ORCID: 0000-0002-8722-34201;

*Chernov A. A.*¹, junior researcher, e-mail: Al-exxxe-y@mail.ru;

*Singizin I. I.*¹, PhD student, e-mail: igsing@yandex.ru;

¹ Novosibirsk State Technical University.

For contacts: *Bakhholdin P. A.*, e-mail: pavel.bakhholdin54@gmail.com.

Получена редакцией 24.01.2022; получена после рецензии 27.09.2022; принята к печати 10.11.2022.

Received by the editors 24.01.2022; received after the review 27.09.2022; accepted for printing 10.11.2022.