

УДК 519.686, 519.876.5

С.В. ХИТРИКОВзаместитель начальника отдела моделирования и виртуальных испытаний¹
E-mail: hitrikovsergey@gmail.com**А.Г. ВЫГОННЫЙ**, канд. техн. наук, доц.ведущий научный сотрудник отдела моделирования и виртуальных испытаний¹
E-mail: vigonny@mail.ru**А.Л. КРАВЧЕНОК**научный сотрудник отдела моделирования и виртуальных испытаний¹
E-mail: kravchenoks@mail.ru**Д.А. ШВЕЦ**заведующий сектором информационно-измерительных систем¹
E-mail: dshvecc@gmail.com**А.Ю. ПОТОТУРКО**начальник конструкторского бюро электронных систем управления общей диагностики²
E-mail: diagnostics@belaz.minsk.by¹Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь²ОАО «БЕЛАЗ» — управляющая компания холдинга «БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ», г. Жодино, Республика Беларусь*Поступила в редакцию 06.10.2021.*

ПРИМЕНЕНИЕ NIL-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ АЛГОРИТМА ГАШЕНИЯ ПРОДОЛЬНО-УГЛОВЫХ КОЛЕБАНИЙ КАРЬЕРНОГО САМОСВАЛА

В работе рассмотрено применение NIL-технологии для тестирования и отладки алгоритма гашения продольно-угловых колебаний карьерного самосвала. С использованием компьютерной динамической модели карьерного самосвала выполнена апробация предлагаемого алгоритма гашения продольно-угловых колебаний для случаев движения по дорогам с различными характеристиками микропрофиля. Подтверждена эффективность функционирования разработанного алгоритма продольно-угловых колебаний и возможность снижения амплитуды колебаний в кабине самосвала на 20 %. Сформирован полунатурный стенд для тестирования и отладки программного обеспечения (ПО) системы гашения продольно-угловых колебаний. Для бортового контроллера самосвала разработано ПО, реализующее управление тормозной системой согласно предлагаемому алгоритму гашения продольно-угловых колебаний.

Ключевые слова: продольно-угловые колебания, плавность хода, система управления, алгоритм, карьерный самосвал, NIL-система, полунатурный стенд

DOI: <https://doi.org/10.46864/1995-0470-2021-4-57-56-62>

Введение. Карьерный самосвал представляет собой сложную динамическую систему, включающую подсистемы, отвечающие за управление работой его определенных узлов. Последнее подразумевает необходимость выполнения работ по созданию и отладке советующих алгоритмов управления. Совершенствование существующих, а особенно разработка и внедрение новых алгоритмов управления для таких объектов, как карьерный самосвал, связаны со значительными затратами времени и финансов. Для минимизации подобных затрат на всех стадиях разработки интеллектуальных систем автомобилей применя-

ются современные методы и средства модельно-ориентированного проектирования (МОП) [1–3]. В основе этого подхода лежит использование многостадийного компьютерного моделирования как самого объекта управления, так и на начальной стадии алгоритма его управления, заканчивая моделированием работы исследуемого объекта под управлением ПО, реализующего требуемый алгоритм на конкретном аппаратном устройстве (контроллере) [4]. В работе [5] выделяют следующие основные стадии МОП систем управления, на которых в качестве объекта тестирования выступает: модель — Model-in-the-loop

(MiL); ПО — Software-in-the-loop (SiL); прототип устройства — Processor-in-the-loop (PiL); готовое устройство — Hardware-in-the-loop (HiL).

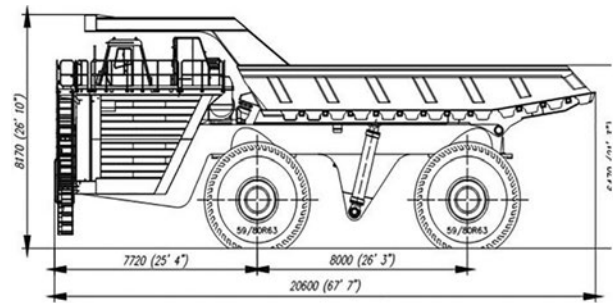
Постановка задачи. Эксплуатация карьерных самосвалов в стесненных условиях карьеров накладывает на данный вид техники ряд конструктивных и компоновочных особенностей. Среди основных можно отметить высокое положение центра масс и короткую базу карьерных самосвалов, а в отдельных случаях — сопоставимость либо же превышение жесткости подвески над жесткостью шин. Эти особенности при движении самосвала по дорогам с неровным покрытием вызывают склонность к появлению нежелательных продольно-угловых колебаний подрессоренной массы самосвала, что создает неудобства для водителя, а также ведет к повышению динамической нагруженности несущих конструкций самосвала. Поэтому необходим поиск пути обеспечения высоких показателей плавности хода и, в частности, минимизации продольно-угловых колебаний карьерного самосвала при сохранении его основных компоновочных параметров, а также характеристик подвески. Применение активных интеллектуальных систем управления динамикой продольного движения ТС является одним из эффективных путей решения такой задачи.

Разработка для карьерного самосвала новой интеллектуальной системы требует реализации комплекса работ по отладке, тестированию и анализу эффективности работы предлагаемого алгоритма гашения продольно-угловых колебаний. Он включает многочисленные комбинации исследований для различных весовых и дорожных условий. Проведение таких работ традиционными экспериментальными методами крайне длительно и затратно, а в некоторых случаях просто невозможно. Поэтому в разработке системы гашения продольно-угловых колебаний карьерного самосвала актуально применение современных методов и средств МОП. Для практической реализации такого подхода необходимо решение следующих основных задач, заключающихся в разработке:

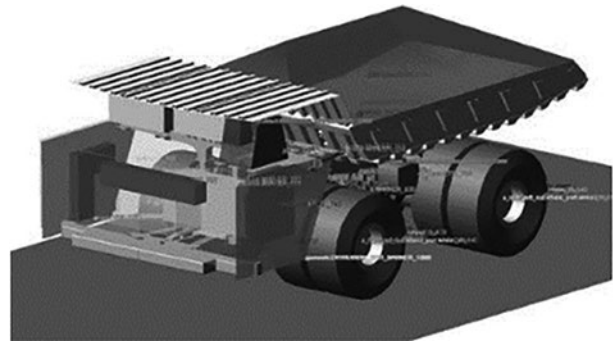
- модели объекта управления карьерного самосвала;
- алгоритма и модели системы управления;
- полунатурного стенда для тестирования и отладки алгоритма управления.

Разработка модели карьерного самосвала. Объектом исследования является самосвал БЕЛАЗ-75710 [6] с колесной формулой 4×4. Его особенностями являются: полный привод всех колес, применение системы управления поворотом одного или сразу двух мостов и двоярных колес обеих осей. Общий вид карьерного самосвала с указанием габаритных размеров и его компьютерная расчетная динамическая модель представлены на рисунке 1.

Расчетная компьютерная модель самосвала разработана в программе ADAMS и валидирована по динамическим показателям. Описание расчет-



a



b

Рисунок 1 — Общий вид (a) и модель (b) карьерного самосвала БЕЛАЗ-75710
Figure 1 — General view (a) and model (b) of the BELAZ-75710 dump truck

ной модели самосвала достаточно детально рассмотрено в работе [7].

В данной работе рассматриваются примеры моделирования движения самосвала по ровной плоской дороге без уклона, содержащей: единичную неровность (синусоидальной формы), расположенную по одной линии перпендикулярно направлению движения самосвала для левой и правой колеи, с высотой 190 и шириной 1500 мм; участок длиной 100 м с микропрофилем (дисперсия микропрофиля составляет 6–9 см²), соответствующим дороге в отвале карьера.

Для обеспечения взаимодействия между компьютерными моделями объекта и системы управления, разработанными в программах ADAMS и MATLAB&Simulink соответственно, были назначены необходимые входные и выходные переменные. Входные переменные для модели самосвала содержат следующую информацию, поступающую от системы управления: направление и величину поворота рулевого колеса, сигналы от педалей газа и тормоза, а также величину изменения крутящих моментов, подводимых со стороны привода к колесам. Выходными данными, направляемыми по обратной связи к системе управления, являются: угол продольно-угловых колебаний, значения крутящих моментов на всех колесах самосвала.

Для реализации такого взаимодействия между указанными программными средствами в программе ADAMS создается сценарий, реализованный в виде MATLAB-файла (m-файл, который запускает и обеспечивает взаимодействие MATLAB&Simulink

с моделью объекта управления в ADAMS), содержащий перечень и описания всех входных и выходных переменных модели.

Разработка алгоритма и системы управления.

Алгоритм гашения продольно-угловых колебаний карьерного самосвала основан на управлении тяговыми и тормозными крутящими моментами на колесах, которые прикладываются в определенные фазы колебаний подрессоренной массы карьерного самосвала, определяемые углом ее продольного наклона. Подробно алгоритм описан в работе [8]. В этой работе также рассмотрена разработка модели системы управления в MATLAB&Simulink с использованием диаграмм переходов состояний Stateflow. Проведены исследования по определению оптимальных величин тяговых и тормозных воздействий, позволяющих обеспечить гашение продольно-угловых колебаний. Их значения составили 375 и 100 кН·м для тягового и тормозного крутящего момента соответственно. При этом был установлен диапазон регулирования колебаний. Алгоритмом предусмотрена активация управляющих воздействий по противодействию развитию продольно-угловых колебаний при превышении абсолютной величины продольного угла $\pm 0,2^\circ$. Таким образом, диапазон изменения угла продольных колебаний $\pm 0,2^\circ$ находится вне зоны регулирования рассматриваемой системы (зона нечувствительности). Принцип действия алгоритма системы гашения продольно-угловых колебаний приведен на рисунке 2.

Как было показано в работе [8], для эффективного гашения продольно-угловых колебаний достаточно управления только тормозными моментами. С учетом этого уточнения разработано ПО для программируемого логического контроллера RC-12-10/30 (компании Bosch Rexroth AG, Германия, далее — контроллер), реализующее управление тормозными воздействиями по предлагаемо-

му алгоритму [9]. Для подключения контроллера к MATLAB&Simulink использовался CAN-USB-адаптер фирмы PEAK-System Technik [10].

Для формирования управляющих воздействий водителя, передаваемых к модели карьерного самосвала, были введены периферийные устройства, выполняющие функции следующих органов управления: руля, педалей тормоза и газа. Данные органы управления подключены к MATLAB&Simulink через модуль сбора данных USB-1208HS фирмы Measurement Computing [11].

Для согласования и управления работой всех используемых устройств и моделей (модель самосвала, модель органов управления и CAN-интерфейса) в MATLAB&Simulink была разработана специальная интерфейсная программа. Схематичное изображение программы интерфейса и управления представлено на рисунке 3.

Разработка полунатурного стенда для тестирования и отладки алгоритма управления.

С целью проведения тестирования и отладки ПО, реализующего в контроллере предлагаемый алгоритм управления, с учетом сформированной схемы взаимодействия используемых устройств и моделей (см. рисунок 3) был собран полунатурный испытательный стенд. Схема и общий вид полунатурного стенда приведены на рисунке 4.

Принцип работы полунатурного стенда следующий. Сигналы от органов управления через модуль сбора данных поступают в модель интерфейса и управления и в компьютерную модель карьерного самосвала. Модель карьерного самосвала посылает в модель интерфейса и управления выходные данные (отклик модели самосвала на систему управления), которые поступают в CAN-шину через CAN-USB-адаптер и далее направляются в контроллер. Для передачи данных в контроллер использовались два PGN-адреса:

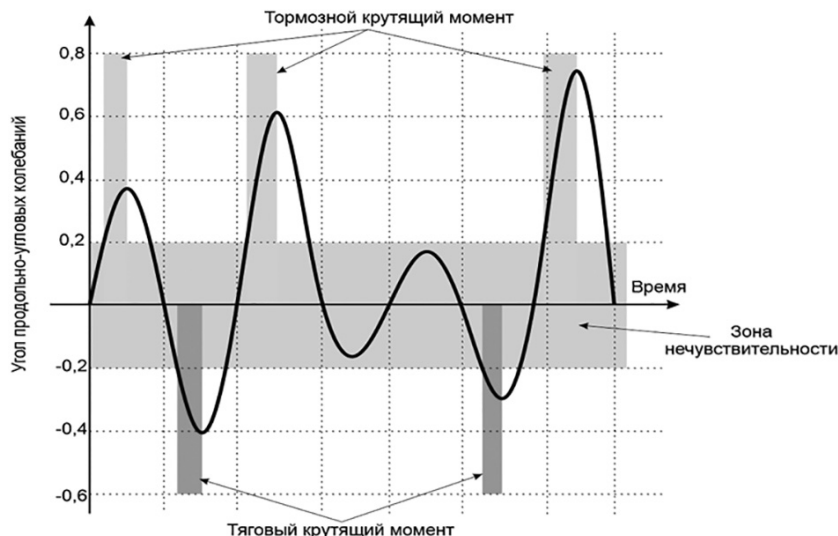


Рисунок 2 — График изменения угла продольно-угловых колебаний и крутящие моменты алгоритма гашения продольно-угловых колебаний

Figure 2 — Graph of changes in the angle of longitudinal and angular oscillations and torques of the algorithm for damping longitudinal and angular oscillations

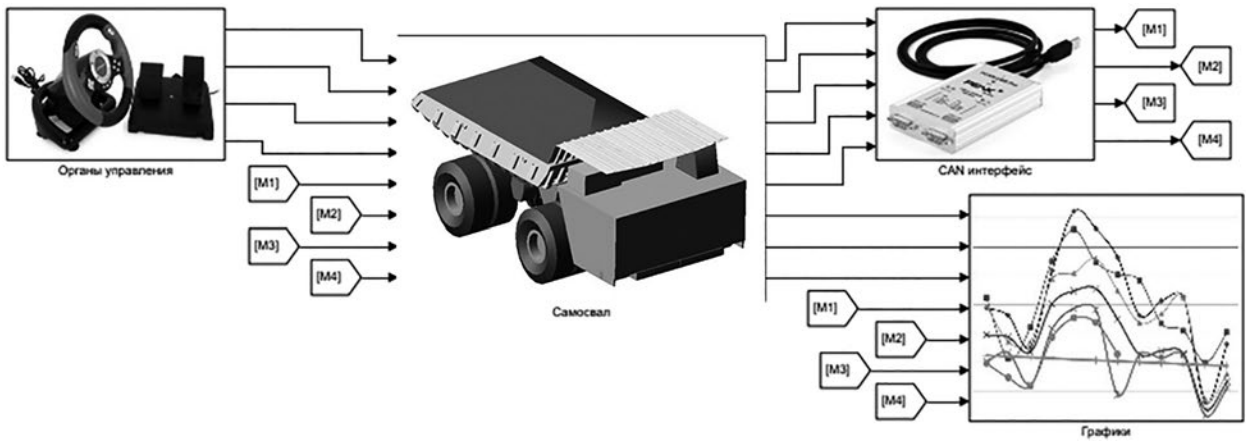


Рисунок 3 — Схема взаимодействия используемых устройств и моделей
Figure 3 — Interaction scheme of the devices and models used



a

b

Рисунок 4 — Схема (a) и общий вид (b) полунатурного испытательного стенда для тестирования и отладки систем управления
Figure 4 — Diagram (a) and general view (b) of a semi-natural test bench for testing and debugging control systems

один — содержащий величину угла продольных колебаний, второй — текущие значения крутящих моментов на всех колесах. Алгоритм, заложенный в контроллере, анализирует полученные данные и оставляет крутящие моменты на колесах без изменения или же изменяет их согласно заложенному алгоритму, передавая новые значения через PGN-адрес в CAN-шину, далее — в модель интерфейса и управления — и затем уже в модель самосвала.

Результаты применения полунатурного стенда. Результаты тестирования алгоритма гашения продольно-угловых колебаний на стенде при моделировании движения карьерного самосвала в груженом состоянии со скоростью ≈ 15 км/ч по дороге с единичной неровностью, распложенной перпендикулярно направлению движения одновременно под левыми и правыми колесами, представлены на рисунках 5–6.

Анализ полученных результатов (см. рисунок 5) показал, что значения максимальных амплитуд продольно-угловых колебаний без применения системы гашения составляют $1,8^\circ$, а при ее применении — $1,56$ и $1,65^\circ$ для диапазона регулирования угла продольно-угловых колебаний $\geq 0,2$ и $\geq 0,5^\circ$ соответственно. Таким образом, использование предложенного алгоритма и системы гашения продольно-угловых колебаний позволяет снизить максимальную амплитуду угловых коле-

баний на 13 и 8 % для рассмотренных диапазонов регулирования продольно-угловых колебаний.

Анализ спектров, приведенных на рисунке 6, показывает, что амплитуда виброускорений на полу кабины самосвала на частоте 0,8 Гц (собственная частота продольно-угловых колебаний), оборудованного системой гашения продольно-угловых колебаний, ниже по отношению к самосвалу без такой системы на 23 и 24 % при диапазоне регулирования угла продольно-угловых колебаний $\geq 0,2$ и $\geq 0,50^\circ$ соответственно.

Как показывают результаты тестирования алгоритма гашения продольно-угловых колебаний карьерного самосвала при различных значениях диапазона регулирования угла продольно-угловых колебаний (см. рисунки 5–6), сужение диапазона регулирования не повышает эффективность гашения продольно-угловых колебаний, поэтому все работы по дальнейшему тестированию системы диапазона регулирования $\geq 0,2^\circ$. Итоговый диапазон регулирования угла продольно-угловых колебаний будет определен по результатам натурных испытаний карьерного самосвала.

Результаты тестирования алгоритма гашения продольно-угловых колебаний карьерного самосвала на сформированном полунатурном стенде при моделировании движения по дороге с характеристиками микропрофиля, соответствующими дороге в отвале карьера, представлены на рисунке 7.

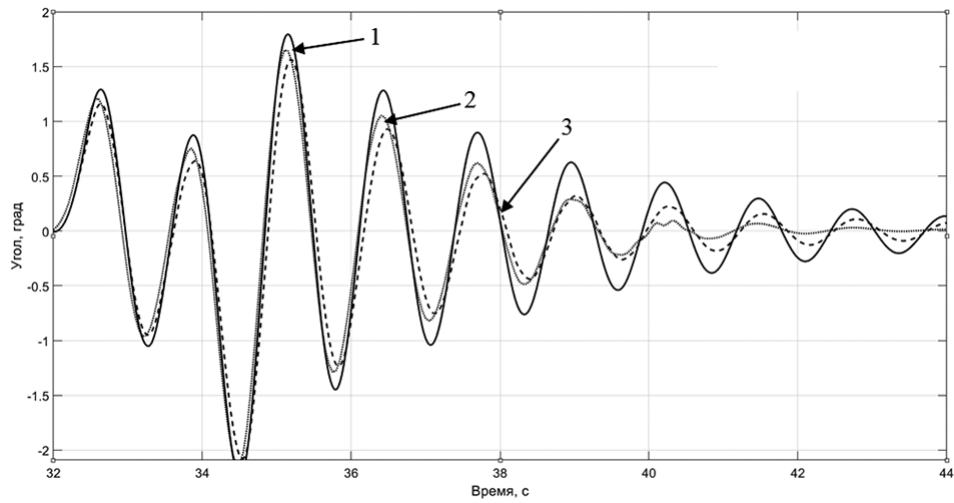


Рисунок 5 — Графики изменения угла поддресоренной массы при продольно-угловых колебаниях самосвала при движении по дороге с единичной неровностью. Система гашения колебаний: 1 — неактивная; 2 — активная (диапазон регулирования $\geq 0,2^\circ$); 3 — активная (диапазон регулирования $\geq 0,5^\circ$)

Figure 5 — Graphs of changing the angle of the sprung mass with longitudinal and angular vibrations of the dump truck when driving on a road with a single unevenness. Vibration damping system: 1 — inactive; 2 — active (control range $\geq 0.2^\circ$); 3 — active (control range $\geq 0.5^\circ$)

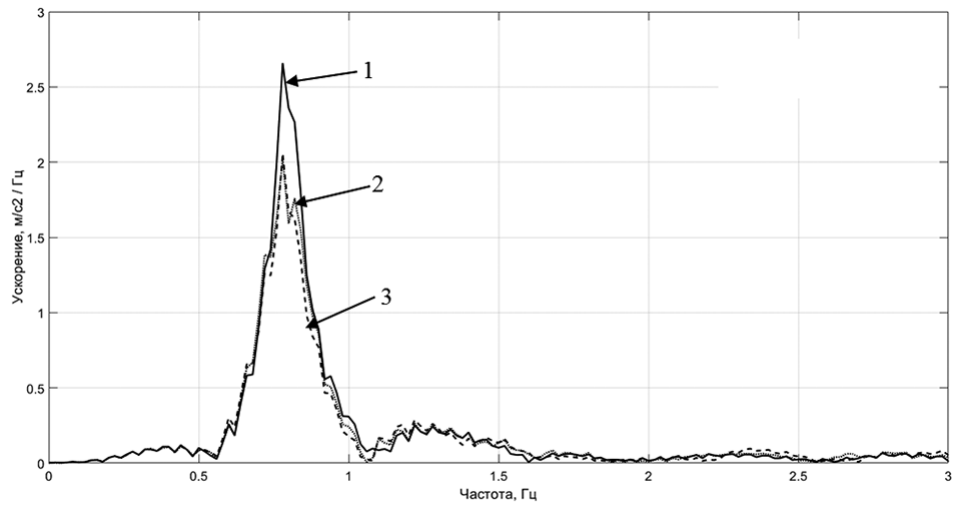


Рисунок 6 — Спектры виброускорений на полу кабины самосвала при движении по дороге с единичной неровностью. Система гашения колебаний: 1 — неактивная; 2 — активная (диапазон регулирования $\geq 0,2^\circ$); 3 — активная (диапазон регулирования $\geq 0,5^\circ$)

Figure 6 — Spectra of vibration accelerations on the dump truck cabin floor when driving on the road with the single unevenness. Vibration damping system: 1 — inactive; 2 — active (control range $\geq 0.2^\circ$); 3 — active (control range $\geq 0.5^\circ$)

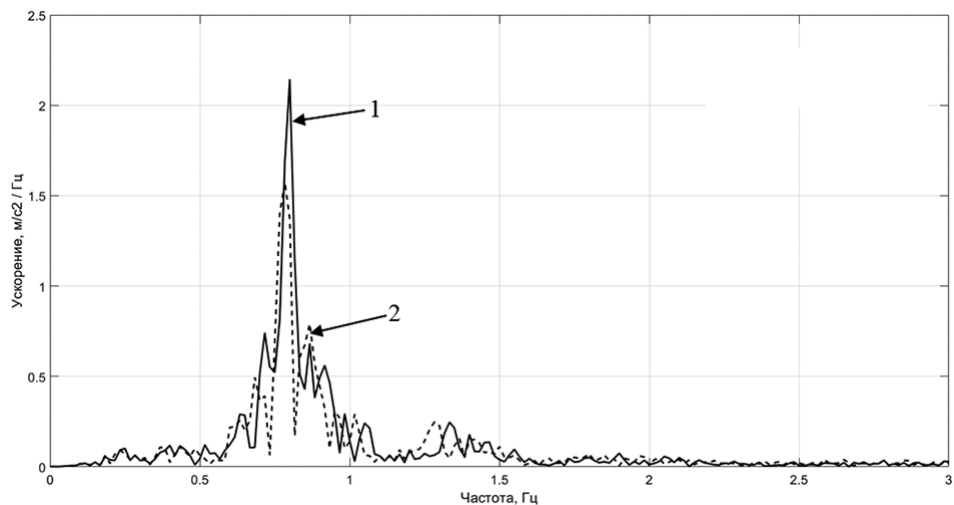


Рисунок 7 — Спектры виброускорений на полу кабины самосвала при движении по дороге в отвале. Система гашения колебаний: 1 — неактивная; 2 — активная (зона нечувствительности угла продольно-угловых колебаний равна $0,2^\circ$)

Figure 7 — Spectra of vibration accelerations on the dump truck cabin floor when driving on the road in the dump. Vibration damping system: 1 — inactive; 2 — active (insensitivity zone of the angle of longitudinal and angular oscillations equals 0.2°)

Анализ спектров на рисунке 7 также показывает снижение амплитуды виброускорений на полу кабины самосвала на частоте 0,8 Гц на 25 %.

Выводы. Применение ННЛ-технологии при тестировании и отладке системы гашения продольно-угловых колебаний позволило существенно сократить время на отладку алгоритма гашения продольно-угловых колебаний карьерного самосвала без применения дорогостоящих натуральных испытаний, а также провести виртуальные испытания на потенциально опасных для самосвала режимах. В ходе выполненной работы были получены следующие результаты.

1. Разработан полунатурный стенд, позволяющий проводить отладку и тестирование алгоритмов управления карьерных самосвалов с использованием программируемого логического контроллера RC-12-10/30 Bosch Rexroth AG.

2. Для указанного контроллера разработано ПО, реализующее предложенный алгоритм работы системы гашения продольно-угловых колебаний карьерного самосвала [8]. На базе разработанного полунатурного стенда проведено тестирование и отладка ПО контроллера.

3. Проведенный комплекс исследований подтвердил эффективность применения предложенного алгоритма гашения продольно-угловых колебаний при движении карьерного самосвала в различных дорожных условиях. Анализ результатов показывает возможность снижения амплитуды виброускорений на полу кабины самосвала на частоте 0,8 Гц (собственная частота продольно-угловых колебаний самосвала) на 20 %.

Список литературы

1. Деменков, Н.П. Модельно-ориентированное проектирование систем управления / Н.П. Деменков // Промышленные АСУ и контроллеры. — 2008. — № 11. — С. 66–69.
2. Проведение натуральных испытаний для отладки программно-аппаратного комплекса для оценки управляемости легких коммерческих автомобилей, оснащенных системами электронными контроля устойчивости. Особенности выполнения маневров на сухом и влажном асфальте / Е.И. Торопов [и др.] // Тр. НГТУ им. Р.Е. Алексеева. — 2017. — № 4. — С. 172–177.
3. Куликов, И. Технология ННЛ как инструмент создания автомобильных многоприводных силовых агрегатов / И. Куликов // Изв. МГТУ «МАМИ». — 2014. — Т. 1. — № 3(21). — С. 27–34.
4. Джонс, Д. Модельно-ориентированное проектирование систем управления: моделирование и тестирование до реализации в аппаратуре / Д. Джонс, Б.Маккай // Control Engineering Россия. — 2013. — № 5(47). — С. 64–66.
5. Применение модельно-ориентированного проектирования к созданию АСУ ТП опасных промышленных объектов / С.С. Журавлев [и др.] // Вестн. НГУ. Сер.: Информационные технологии. — 2018. — Т. 16, № 4. — С. 56–65.
6. Белаэ: официальный сайт [Электронный ресурс]. — 2013. — Режим доступа: <https://belaz.by>. — Дата доступа: 01.07.2020.
7. Оценка влияния неточностей вертикального расположения кронштейнов подвески самосвала на неравномерность их нагруженности / А.Г. Выгонный [и др.] // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: С.Н. Поддубко [и др.]. — Минск, 2018. — Вып. 7. — С. 101–104.
8. Алгоритм гашения продольно-угловых колебаний карьерного самосвала / С.В. Хитриков [и др.] // Механика машин, механизмов и материалов. — 2020. — № 1(50). — С. 26–32.
9. BODAS Controller RC12-10/30 [Electronic resource] // Rexroth A Bosch Company. — Mode of access: <https://www.boschrexroth.com/en/xc/products/product-groups/mobile-hydraulics/mobile-electronics/bodas-hardware/bodas-controllers/rc12-10-30>. — Date of access: 03.04.2020.
10. PCAN-USB Pro [Electronic resource] // Peak System: официальный сайт. — Mode of access: <https://www.peak-system.com/PCAN-USB-Pro.200.0.html?&L=1>. — Date of access: 13.02.2020.
11. USB-1208HS Series [Electronic resource] // MC Measurement Computing: официальный сайт. — Mode of access: <https://www.mccdaq.com/usb-data-acquisition/USB-1208HS-Series.aspx>. — Date of access: 19.07.2019.

KHITRIKOV Sergey V.

Deputy Head of the Department of Computer Modelling and Virtual Testing¹
E-mail: hitrikovsergey@gmail.com

VYGONNY Albert G., Ph. D. in Eng., Assoc. Prof.

Leading Researcher of the Department of Computer Modelling and Virtual Testing¹
E-mail: vigonny@mail.ru

KRAUCHONAK Aliaksandr L.

Researcher of the Department of Computer Modelling and Virtual Testing¹
E-mail: kravchenoks@mail.ru

SHVETS Dzmitry A.

Head of the Division of Information and Measurement Systems¹
E-mail: dshvecc@gmail.com

POTOTURKO Aliaksandr Yu.

Head of the Design Bureau of Electronic Control Systems for General Diagnostics²
E-mail: diagnostics@belaz.minsk.by

¹Joint Institute of Mechanical Engineering of the NAS of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

²OJSC “BELAZ” — Management Company of Holding “BELAZ-HOLDING”, Zhodino, Republic of Belarus

APPLICATION OF HIL TECHNOLOGIES IN DEVELOPING AN ALGORITHM FOR SUPPRESSING LONGITUDINAL AND ANGULAR VIBRATIONS OF A MINING DUMP TRUCK

The paper considers the use of HIL technology for testing and debugging the algorithm for damping longitudinal and angular vibrations of a mining dump truck. Using a computer dynamic model of the mining dump truck, the proposed algorithm for damping longitudinal and angular vibrations has been tested for cases of movement on roads with different characteristics of the micro-profile. The efficiency of functioning of the developed algorithm of longitudinal and angular oscillations and the possibility of reducing the oscillation amplitude in the dump truck cabin by 20 % have been confirmed. A semi-natural bench has been formed for testing and debugging the software of the longitudinal and angular vibration damping system. For the on-board controller of the dump truck, software has been developed that implements the control of the brake system according to the proposed algorithm for damping longitudinal and angular vibrations.

Keywords: longitudinal and angular vibrations, smooth running, control system, algorithm, mining dump truck, HIL system, semi-natural bench

DOI: <https://doi.org/10.46864/1995-0470-2021-4-57-56-62>

References

1. Demenkov N.P. Modelno-orientirovanoe proektirovanie sistem upravleniya [Model-oriented design of control systems]. *Industrial automatic control systems and controllers*, 2008, no. 11, pp. 66–69 (in Russ.).
2. Toropov E.I., Vashurin A.S., Trusov Yu.P., Moshkov P.S., Anikin A.A., Palutin Yu.I. Provedenie naturnykh ispytaniy dlya otladki programmno-apparatnogo kompleksa dlya otsenki upravlyaemosti legkikh kommercheskikh avtomobiley, osnashchennykh sistemami elektronnyimi kontrolya ustoychivosti. Osobennosti vypolneniya manevrov na sukhom i vlazhnem asfalte [Field tests for debugging of a software and hardware complex for the needs of evaluation of controllability of light commercial vehicles (LCV) equipped with electronic stability control (ESC) systems. Particularities of maneuvers on dry and wet asphalt]. *Transactions of NNSTU n.a. R.E. Alekseev*, 2017, no. 4, pp. 172–177 (in Russ.).
3. Kulikov I. Tekhnologiya HIL kak instrument sozdaniya avtomobilnykh mnogoprivodnykh silovykh agregatov [HIL simulation as an instrument for elaboration of automotive drivetrains with wheels torques distribution]. *Izvestiya MGTU "MAMI"*, 2014, no. 3(21), vol. 1, pp. 27–34 (in Russ.).
4. Jones D., McKay B. Modelno-orientirovanoe proektirovanie sistem upravleniya: modelirovanie i testirovanie do realizatsii v apparature [Model-oriented design of control systems: modeling and testing before implementation in hardware]. *Control engineering Russia*, 2013, no. 5, pp. 62–64 (in Russ.).
5. Zhuravlev S.S., Rudometov S.V., Okolnishnikov V.V., Shakirov S.R. Primenenie modelno-orientirovannogo proektirovaniya k sozdaniyu ASU TP opasnykh promyshlennykh obektov [Model-based design approach for development process control systems of hazardous industrial facilities]. *Vestnik NSU. Series: information technologies*, 2018, vol. 16, no. 4, pp. 56–65.
6. *Belaz*. 2013. Available at: <https://belaz.by> (accessed 01 July 2020).
7. Vygonyy A.G., Lopukh D.G., Kalesnikovich A.N., Shmialiou A.V., Krauchonak A.L., Shakin R.V. Otsenka vliyaniya netochnostey vertikalnogo raspolozheniya kronshteynov podveski samosvala na neravnomernost ikh nagruzhenosti [Evaluation of effect of inaccuracies of vertical spacing of dump truck suspension brackets on their load imbalance]. *Aktualnye voprosy mashinovedeniya*, 2018, iss. 7, pp. 101–104.
8. Khitrikov S.V., Shmialiou A.V., Shvets D.A., Krauchonak A.L., Vygonyy A.G., Kalesnikovich A.N., Shakin R.V. Algoritm gasheniya prodolno-uglovykh kolebaniy karernogo samosvala [Algorithm for damping longitudinal-angular oscillations of a mining dump truck]. *Mechanics of machines, mechanisms and materials*, 2020, no. 1 (50), pp. 26–32.
9. *BODAS Controller RC12-10/30*. Available at: <https://www.boschrexroth.com/en/xc/products/product-groups/mobile-hydraulics/mobile-electronics/bodas-hardware/bodas-controllers/rc12-10-30> (accessed 03 April 2020).
10. *PCAN-USB Pro*. Available at: <https://www.peak-system.com/PCAN-USB-Pro.200.0.html?&L=1> (accessed 13 February 2020).
11. *USB-1208HS Series*. Available at: <https://www.mccdaq.com/usb-data-acquisition/USB-1208HS-Series.aspx> (accessed 19 July 2019).