

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-642159>

Оригинальное исследование



Перспективы создания адаптивной системы управления вибронагруженностью мобильного энергосредства сельскохозяйственного назначения

З.А. Годжаев, С.Е. Сенькевич, И.С. Малахов, С.Ю. Уютов

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. В настоящей работе представлена и исследована адаптивная система поддрессирования (АСП) сельскохозяйственных мобильных энергосредств (МЭС). Дан анализ особенностей аппаратного и программного обеспечения создания адаптивной системы управления вибронагруженностью МЭС. Проанализированы полученные результаты на испытательном стенде и определены перспективы дальнейшей реализации подобных систем на мобильных машинах АПК. Показана эффективность применения АСП при создании высокоэффективных инновационных мобильных машин сельскохозяйственного производства.

Цель работы — оценить перспективы и проблемы создания аппаратного и программного обеспечения АСП сельскохозяйственных МЭС.

Материалы и методы. Представлены материалы по разработке имитационного стенда АСП, особенности аппаратного и программного обеспечения. Применяются методы натурных испытания, обработки статистических данных от стендовых испытаний и о характеристиках микропрофилей дорог и полей.

Результаты. По результатам расчётно-экспериментальных исследований определено, что разработанные аппаратные и программные обеспечения АСП отвечают функциональным требованиям. АСП позволяет эффективно снижать виброактивности элементов конструкции МЭС на 20% и более, особенно на несущих системах МЭС. Установлено, что этот эффект может обеспечить повышение урожайности сельхозкультур до 30%. Вычислены пороговые значения величин неровностей микропрофилей сельскохозяйственных дорог и полей для улучшения эффективности АСП при высоких линейных скоростях МЭС.

Заключение. Приведёнными исследованиями установлено, что разработка и внедрение АСП с высокоэффективным аппаратным, математическим и программным обеспечением позволяет существенно снизить вибронагруженность элементов конструкции МЭС сельскохозяйственного назначения, особенно в тяжёлых режимах работы и неровностях дорог и полей. Внедрение подобной системы на современных МЭС, является залогом улучшения многих их функциональных характеристик машины — условия труда, давление на почву, буксование движителя, повышение долговечности конструкции. Результаты данной разработки могут быть использованы при создании инновационных колёсных транспортно-технологических средств АПК с элементами искусственного интеллекта, а именно, в системах поддрессирования и ходовых системах полнокомплектной мобильной машины, агрегируемой с сельскохозяйственным орудием.

Ключевые слова: адаптивная система поддрессирования; мобильные энергетические средства; эффективность; система поддрессирования; нейронная сеть; микропрофиль; вибронагруженность.

Как цитировать:

Годжаев З.А., Сенькевич С.Е., Малахов И.С., Уютов С.Ю. Перспективы создания адаптивной системы управления вибронагруженностью мобильного энергосредства сельскохозяйственного назначения // Тракторы и сельхозмашины. 2024. Т. 91, № 6. С. 705–712.

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-642159>

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-642159>

Original Study Article

Prospects for the creation of the adaptive vibration control system for an agricultural mobile power unit

Zakhid A. Godzhaev, Sergey E. Senkevich, Ivan S. Malakhov, Sergey Yu. Uyutov

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: In this paper, an adaptive suspension system for agricultural mobile power units (MPU) is presented and studied. The analysis of the features of hardware and software for the creation of an adaptive vibration load control system for a MPU is given. The results obtained on the test bench are analyzed, and the prospects for further implementation of such systems on mobile agricultural machines are determined. The effectiveness of the use of the adaptive suspension system in the creation of highly efficient innovative agricultural mobile machines is shown.

OBJECTIVE: Evaluation of the prospects and problems of creating hardware and software for the adaptive suspension system of agricultural MPUs.

METHODS: Materials on the development of the test bench for the adaptive suspension system, hardware and software features are presented. Methods of field testing, processing statistical data from the bench tests and on the characteristics of microprofiles of roads and fields are used.

RESULTS: Based on the results of computational and experimental studies, it was determined that the hardware and software of the developed adaptive suspension system meet the functional requirements. The adaptive suspension system makes it possible to effectively reduce the vibration activity of MPU structural elements by 20% or more, especially on MPUs' load-bearing systems. It is determined that this effect can ensure an increase in crop yields of up to 30%. Threshold values of the values of irregularities in the microprofiles of agricultural roads and fields have been determined to improve the efficiency of the adaptive suspension system at high linear velocities of MPU.

CONCLUSIONS: With the given studies, it is found that the development and implementation of the adaptive suspension system with highly efficient hardware, mathematical and control software can significantly reduce the vibration load of structural elements of agricultural MPUs, especially in severe operating conditions and irregularities of microprofiles of roads and fields. The introduction of such a system on modern MPU is the key to improvement of many of functional characteristics of the machine, such as working conditions, pressure on the soil, slipping of the propulsion, increasing the durability of the structure. The results of this development can be used in the creation of innovative wheeled transport-and-technological means of agricultural industry with elements of artificial intelligence, namely in suspension systems and chassis of a complete mobile machine, coupled with an agricultural implement.

Keywords: adaptive suspension system; mobile power units; efficiency; suspension system; neural network; microprofile; vibration load.

To cite this article:

Godzhaev ZA, Senkevich SE, Malakhov IS, Uyutov SY. Prospects for the creation of the adaptive vibration control system for an agricultural mobile power unit. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2024;91(6):705–712. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-642159>

Received: 22.11.2024

Accepted: 28.11.2024

Published online: 31.12.2024

ВВЕДЕНИЕ

Как известно, одной из основных проблем создания высокоэффективных мобильных энергосредств является защита элементов конструкции от высокого уровня вибрации, генерируемого от взаимодействия ходовой системы с опорной поверхностью — поля, дороги, растительный покров и т.д. Это особенно важно для колёсных мобильных машин, применяемых в сельском хозяйстве, в тех случаях, когда микропрофили дорог и полей имеют очень высокую степень неровности — вспаханное поле, езда поперёк борозд, транспортное движение по ухабыстым местам и т.д. Для решения данной проблемы, одним из перспективных направления является создание адаптивных систем поддрессоривания (АСП) и ходовых систем. Принцип работы таких систем, состоит в том, что при движении мобильных энергосредств (МЭС) с помощью необходимых технических средств обеспечит сканирование дорожного полотна, сопоставляет его с имеющимся в виде нейронных сетей показателей неровности микропрофилей дорог и выработать управляющее воздействие на исполнительный механизм. В данном случае исполнительным механизмом может быть техническое средство, которое в онлайн режиме управляет (изменяет) упругодемпфирующими характеристиками системы виброзащиты машины в целом. Например, для колёсных машин это может быть пневматическая или гидравлическая система поддрессоривания или изменение внутришинного давления колёс. Разрабатывая адекватное, аппаратное, математическое и программное обеспечение подобных адаптивных систем, можно добиться высокой эффективности и функционирования полнокомплектной машины, то есть снижать уровень вибрации на всех агрегатах узлов мобильной машины. Однако, при практической реализации подобных проектов, возникают проблемы, связанные как с аппаратным, так и с программным обеспечением подобных адаптивных систем управления. На примерах мобильных энергосредств сельхозназначения это даёт ещё дополнительный эффект в виде снижения давления на почву (снижение степени переуплотнения) и буксования колеса, что очень важно для повышения урожайности. Разработка технических средств, аппаратного, математического и программного обеспечения, отмечающих требованиям к подобным системам управления является базовым для достижения поставленной цели.

ОПИСАНИЕ РАБОТ И РЕЗУЛЬТАТЫ

При разработке адаптивных систем поддрессоривания колёсных МЭС нами выполнялся комплекс работ, связанных с разработкой их технического, аппаратного, математического и программного обеспечения [1–5].

Предполагается, что разрабатываемая АСП будет устанавливаться на тракторе «Агромаш ТК-180» на лонжероне переднего моста. Объектом управления является

пневмоэлемент (ПЭ) системы поддрессоривания переднего моста. Определены нагрузочные характеристики ПЭ существующего трактора — «Агромаш-180ТК». Согласно результатам расчётов на моделях, оптимальные значения жёсткости ПЭ для эффективного управления системой поддрессоривания должны лежать в диапазоне в 1,5–2,0 раза (при внутрикордном давлении 1...6 атм.) меньше, чем ПЭ, установленный на реальном тракторе. В связи с этим, был выбран новый ПЭ, соответствующий по своим упругодемпфирующим характеристикам, расчётному оптимальному диапазону [5]. Общий вид места установки АСП на переднем мосту трактора, приведён на рис. 1.

В качестве элемента поддрессоривания была выбрана двухсекционная пневмоподушка (пневмоэлемент) размером 235х120х235 мм, в качестве исполнительного механизма выбрано: компрессор, ресивер, клапана и другие элементы конструкции. В качестве комплектующих систем управления были выбраны: контроллер (программируемое реле) Овен, бортовой компьютер, оптические датчики для сканирования микропрофиля, датчики давления и др. Для реализации данной концепции создания адаптивного систем поддрессоривания, был создан имитационный стенд, общий вид приведён на рис. 2.

Перечень комплектующих элементов испытательного стенда АСП приведены в табл. 1.

В рамках формирования системы управления, была разработана рекуррентная нейронная сеть, в частности архитектура LSTM (Long Short-Term Memory), обученная по характеристикам неровностей сельскохозяйственных дорог и полей. Выполнена отладка датчиков обратной связи — оптические датчики, датчики давления пневмосистемы, указателя давления в гидросистеме (силовом гидроцилиндре), датчик усилия мембранный,

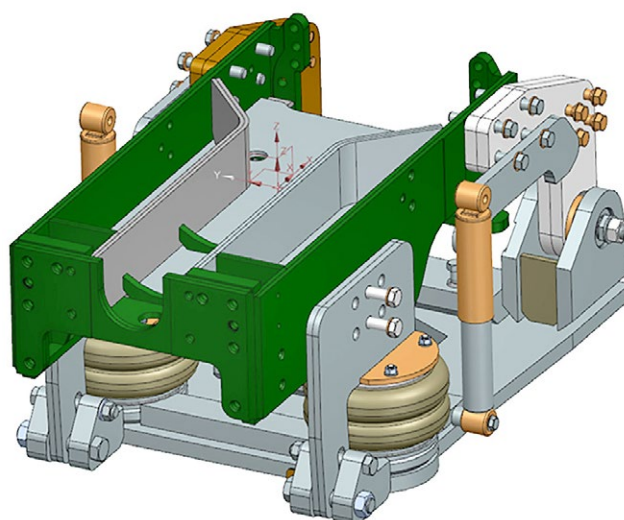


Рис. 1. Общий вид установки пневмоэлементов адаптивной системы поддрессоривания на переднем мосту.

Fig. 1. The main view of the assembly of the airsprings of the adaptive suspension system at the front axle.

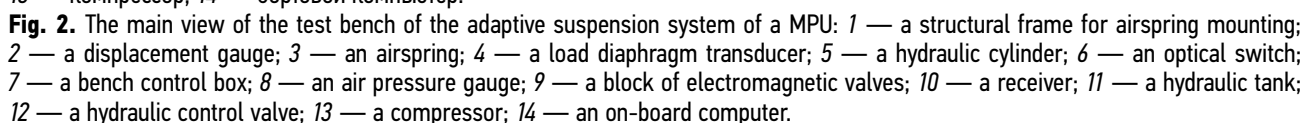


Table 1. List and specification of components of the test bench of the adaptive suspension system

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-642159>

необходимые для формирования управления при имитации неровностей дорожного фона и управлении давлением, с целью изменения упругодемпфирующих характеристик ПЗ системы поддрессирования. Проведена отладка программного обеспечения обучаемой нейронной сети и бортовой электронной (вычислительной) техники. В процессе разработки АСП одна из главных задач заключается в корректной обработке данных о динамике изменения дорожного полотна. Технология рекуррентных нейронных сетей, в частности, применяемая нами, архитектура LSTM (Long Short-Term Memory), предлагает перспективные возможности для обработки временных рядов, что делает её идеальным инструментом для данной задачи. Благодаря LSTM модели, основанной на данных о неровностях микропрофилей дорог, нам удалось достичь значительной эффективности функционирования АСП. Для реализации и обучения модели использованы несколько ключевых библиотек Python:

- NumPy, используется для выполнения широкого спектра математических операций над массивами;
- Pandas, для анализа и манипуляций с данными из различных источников;
- Scikit-learn, предоставляет широкий спектр простых и эффективных инструментов для обработки данных и машинного обучения;
- TensorFlow и Keras: TensorFlow, платформа для машинного обучения, а библиотечный модуль Keras, встроенный в неё, предназначен для создания и обучения нейронных сетей и LSTM модели.

Для эффективной работы АСП необходимо обеспечить надёжное взаимодействие с различными компонентами, такими как датчики и исполнительные устройства. В нашей архитектуре мы выбрали контроллер ОВЕН ПР200, благодаря его гибкости и поддержке протокола Modbus (с доработанными программными процедурами для взаимодействия с исполнительными устройствами), который является стандартом в промышленной автоматизации, контроллер успешно встроен в АСП. Выбор Modbus был обусловлен его устойчивостью, надёжностью и простотой реализации на низком уровне формирования управляющего сигнала. Это позволило эффективно управлять как чтением данных с датчиков, так и передачей команд на исполнительные устройства. Примеры кодов на Python, с использованием библиотек, приведены в файле дополнительного материала к отчёту по НИР. В связи с тем, что в формировании управляющего воздействия на ПЗ принимают участие как электронные и пневматические, так и механические элементы конструкции АСП, срабатывания системы имеют некоторую инерционность, и таким образом ограничивают ее быстродействие. Это ограничение существенно ухудшает эффективность АСП при больших линейных скоростях МЭС, например, транспортных режимах работы, где скорость МЭС достигает уровня 40–45 км/час. В связи с этим, для повышения

эффективности АСП — исключения запоздалых и ложных срабатываний, в программном обеспечении системы управления АСП реализованы (заданы) пороговые значения неровностей дорог и полей. Таким образом, АСП выдаёт команды на изменение давления в ПЗ только в случае обнаружения существенных неровностей — высот или углублений, превышающих пороговые значения. Данные пороговые значения можно выбрать исходя из статистических характеристик микропрофиля дорог и полей. Например, для проселочной дороги пороговую величину можно установить в пределах ± 4 см, для вспаханного поля эта величина может составлять ± 5 –10 см. С этой же целью при дальнейшем внедрении АСП на мобильных машинах, работающих в сельском хозяйстве, можно было бы предусмотреть 2-х диапазонный режим работ АСП: технологический и транспортный. Согласно [6] рабочие скорости МЭС тягового класса 3 (трактор «Агромаш ТК-180») при выполнении различных технологических операций с соответствующими комплексами машин (плуги, рыхлители, культиваторы, бороны, сеялки, и др.) лежит в диапазоне 5–13 км/ч, а в транспортных работах с прицепом — 12–35 км/ч.

Как в любой системе управления следует учитывать задержку отклика автоматической системы — это временной интервал между изменением технологического параметра и управляющим воздействием. Для расчёта задержек в автоматической системе используют параметрическую идентификацию отдельных узлов с последующим составлением циклограммы замкнутого контура регулирования.

Учитывая особенности разрабатываемой АСП, следует определить частоту, с которой система будет работать, по формуле:

$$f \leq f_{\max} = \left(\frac{1}{T_{\min}} \right), \quad (1)$$

где f — частота появления дискретных неровностей микропрофиля; $T_{\min}$ — минимальный период срабатывания АСП.

Этот период определяется по формуле:

$$T_{\min} = t_1 + t_2 + t_3 \quad (2)$$

t_1 — время (задержка) срабатывания датчиков физических величин; t_2 — время срабатывания бортового компьютера и управляющего контроллера; t_3 — время срабатывания исполнительных устройств.

Обоснование данных пороговых значений опирается на обработку нестационарных случайных процессов полученных от неровностей дорог и полей. Профиль поверхности поля является фактором, оказывающим существенное влияние на неравномерность целого ряда базовых выходных параметров МЭС: неравномерность глубины обработки почвы, заделки семян,

неравномерность нагрузочного и скоростного режимов агрегатов и т.п. Подобные работы выполнены исследователями А.Б. Лурье, Л.Е. Агеев, Ю.К. Киртбая [7–9]. Они предложили для области макроколебаний нагрузки колебания считать частотой 0...0,2 Гц, мезоколебаний — 0,2...0,3 Гц, микроколебаний — свыше 3...5 Гц, при длине волны — $L \approx$ до 2 м. Например, на вспаханном, культивированном поле получены следующие статистические характеристики неровностей: минимум –2,192 см, максимум 2,374 см, среднее значение неровностей 0,966 см, стандартное отклонение 0,389 см. На ИС были проведены имитация нагружения элементов конструкции во время движения МЭС при выполнении технологической операции с различными сельхозмашинами — опрыскиватели и плуг. Воспроизведение реально существующих дорожных фонов и эксплуатационных нагрузок на стенде показал эффективность снижения динамической нагруженности в следствии функционирования АСП.

Результатом выполнения данного проекта является повышение функциональных свойств, в том числе и улучшение виброактивности конструкции МЭС (снижение вибронгруженности узлов и деталей). АСП позволяет существенно улучшить условия труда оператора, защитить энергосредство от воздействия вибраций, повысить долговечность благодаря снижению динамических нагрузок, а в последствии — повышение сопротивления усталости и надежности МЭС в целом. Повышение долговечности машины является одним из наиболее приоритетных направлений при разработке АСП и МЭС в целом. При высоких уровнях вибронгруженности, элементы конструкции подвергаются повышенному циклическому нагружению, что согласно теории линейного накопления повреждений при циклическом нагружении вызывает многоцикловую усталость конструкции — снижение сопротивления усталости (долговечности). Согласно этой теории, нагрузки ниже предела выносливости материала — σ_{-1} , накопление повреждений в конструкции не вызывают. По результатам расчётов на примере переднего лонжерона трактора (марка стали 09Г2С, термически обработанная и горячекатанная, $\sigma_{-1} = 230\text{--}250$ МПа, при изгибе), где установлено ПЭ, долговечность конструкции превосходит аналогичный показатель в базовом варианте трактора «Агромаш ТК-180» почти в 2 раза.

Трактора «Агромаш-180ТК» при работе с технологическим оборудованием (4-х корпусным навесным плугом) реализует стационарную нагрузку, приходящуюся на одно переднее управляемое колесо в диапазоне 8000...9000 Н. Имитация данного режима нагружения на разработанная АСП показывает эффективное сглаживание величин динамических нагрузок, по показаниям датчика усилия стенда, они не превышают величины 10800–11700 Н на одно колесо. Без применения АСП динамическая величина этой нагрузки составляет 13000–14300 Н. Таким образом, снижение динамической

нагруженности в данном технологическом режиме работы трактора с применением АСП составляет 20,3–22,2%. Аналогичные показатели по динамическим нагрузкам получены, также при имитации режимов нагружения при работе трактора с опрыскивателем объёмом жидкости в баке 500 л.

Кроме этого, вследствие снижения динамической нагруженности несущей системы МЭС в вышеприведённых значениях, можем достичь снижения максимального нормального давления на почву от движителей (колес) МЭС, оснащенных АСП, более чем на 20%. Вследствие этого, предполагается достигнуть повышения урожайности до 30% (снижение недобора урожая) при 2-х проходах по одной колее. Подобный эффект подтверждён в трудах профессора Русанова В.А. многолетними полевыми исследованиями воздействия ходовых систем МЭС на почву и на урожайность в растениеводстве [10]. В связи с тем, что давление на почву является одним из функциональных (сертификационных) показателей МЭС сельскохозяйственного назначения, применение АСП при создании этих машин существенно повысит их конкурентоспособность и возможность отвечать своим потребительским свойствам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработка и внедрение АСП с высокоэффективным аппаратным, математическим и программным обеспечением позволяет существенно снизить вибронгруженность элементов конструкции МЭС сельскохозяйственного назначения, особенно в тяжёлых режимах работы. Внедрение подобной системы на современных МЭС, является залогом улучшения многих их функциональных характеристик — динамических нагрузок, давления на почву, буксования движителя, долговечности конструкции, условий труда.
2. Результаты данной разработки могут быть использованы при создании инновационных колёсных транспортно-технологических средств АПК с элементами искусственного интеллекта в системах поддрессирования и ходовых системах полнокомплектной машины. Применение АСП при создании МЭС сельскохозяйственного назначения, существенно повысит их конкурентоспособность и возможность отвечать своим потребительским свойствам.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. З.А. Годжаев — постановка задачи, планирование и координация проведения исследований, правка текста статьи; С.Е. Сенькевич — проведение расчётно-экспериментальных исследований, сбор и анализ литературных источников, редактирование статьи; И.С. Малахов — анализ результатов проведённых исследований, оформление текста и редактирование статьи, переписка

с редакцией журнала; С.Ю. Уютов — проведение исследований на стенде, оформление текста статьи. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда — Соглашение № 23-29-00289, от 13.01.2023, <https://rscf.ru/project/23-29-00289/>

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. Z.A. Godzhaev — setting the task, planning and coordinating the research, editing the text

of the manuscript; S.E. Senkevich — conducting computational and experimental studies, collecting and analyzing literary sources, editing the manuscript; I.S. Malakhov — analyzing the results of the conducted research, drafting and editing the text of the manuscript, correspondence with the editorial board of the journal; S.Yu. Uytov — conducting research on the bench, drafting the text of the manuscript. Authors confirm the compliance of their authorship with the ICMJE international criteria. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Funding source. The research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation — Agreement No. 23-29-00289, dated 13.01.2023, <https://rscf.ru/project/23-29-00289/>

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Godzhaev ZA, Malakhov IS. The use of adaptive suspension systems for MES to reduce vibration activity from the support surface. *Fundamental and applied problems of engineering and technology*. 2022;6(356):138–142. (In Russ.) doi: 10.33979/2073-7408-2022-356-6-138-142 EDN: JRCJAZ
2. Godzhaev ZA, Senkevich SE, Kuzmin VA. Vibration protection of the hydraulic system for springing mobile machines using active regulation by a neural network controller. *Tractors and agricultural machinery*. 2019;4:43–49. (In Russ.) doi: 10.31992/0321-4443-2019-4-43-49 EDN: OZQAPF
3. Godzhaev Z, Senkevich S, Uytov S, et al. Substantiation of the range of changes in the elastic-damping and inertial characteristics of the oscillatory system of agricultural MES with mounted technological equipment. *BIO Web Conf*. 2024;84. doi: 10.1051/bioconf/20248405045
4. Godzhaev ZA, Senkevich SE, Malakhov IS, et al. Determination of elastic-damping characteristics of an adaptive springing system for optimal control of a simulation stand. *Tractors and agricultural machinery*. 2024;91(3). (In Russ.) doi: 10.17816/0321-4443-633446
5. Godzhaev ZA, Senkevich SE, Malakhov IS, Uytov SYu. Evaluation of the effectiveness of the adaptive springing system for agricultural mobile energy means. *Fundamental and applied problems of engineering and technology*. 2024;5(367):141–150. (In Russ.) doi: 10.33979/2073-7408-2024-367-5-141-150
6. *A system of machines and technologies for complex mechanization and automation of agricultural production for the period up to 2020. Vol. 1. Crop production*. Moscow: GNU VIM Rosselkhozakademii; 2012. (In Russ.)
7. Lurie AB. *Statistical dynamics of agricultural aggregates / A.B. Lurie. — 2nd edition, revised and supplemented*. Moscow: Kolos; 1981. (In Russ.)
8. Ageev L.E. *Fundamentals of calculating optimal and permissible operating modes of machine and tractor units*. Leningrad: Kolos; 1978. (In Russ.)
9. Kirtbaya YK. *Organization of the use of a machine and tractor park*. Moscow: Kolos; 1974. (In Russ.)
10. Rusanov VA. *The problem of soil re-compaction by movers and effective ways to solve it*. Moscow: VIM; 1998. (In Russ.)

ОБ АВТОРАХ

* Малахов Иван Сергеевич,
аспирант,
младший научный сотрудник сектора «Моделирование и оптимизация МЭС»;
адрес: Россия, 109428, Москва, 1-й Институтский пр-д, д. 5;
ORCID: 0000-0001-8162-7718;
eLibrary SPIN: 7067-6972;
e-mail: malahovivan2008@mail.ru

AUTHORS' INFO

* Ivan S. Malakhov,
Postgraduate,
Junior Researcher of the Modeling
and Optimization of MPUs Sector;
address: 1st Institute dr, Moscow, Russia, 109428;
ORCID: 0000-0001-8162-7718;
eLibrary SPIN: 7067-6972;
e-mail: malahovivan2008@mail.ru

Годжаев Захид Адыгезалович,

д-р техн. наук, профессор, чл.-кор. РАН,
заведующий отделом «Мобильные энергосредства»;
ORCID: 0000-0002-1665-3730;
eLibrary SPIN: 1892-8405;
e-mail: fic51@mail.ru

Сенькевич Сергей Евгеньевич,

канд. тех. наук, доцент,
заведующий лабораторией «Автоматизированный привод
сельскохозяйственной техники»;
ORCID: 0000-0001-6354-7220;
eLibrary SPIN: 7766-6626;
e-mail: sergej_senkevich@mail.ru

Уютов Сергей Юрьевич,

младший научный сотрудник лаборатории
«Автоматизированный привод сельскохозяйственной техники»;
ORCID: 0000-0001-9394-5916;
eLibrary SPIN: 7350-1489;
e-mail: s_uytov@mail.ru

Zakhid A. Godzhaev,

Dr. Sci. (Engineering), Professor, Corresponding Member
of the Russian Academy of Sciences,
Head of the Mobile Power Units Department;
ORCID: 0000-0002-1665-3730;
eLibrary SPIN: 1892-8405;
e-mail: fic51@mail.ru

Sergey E. Senkevich

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor,
Head of the Automated Drive of Agricultural
Machinery Laboratory;
ORCID: 0000-0001-6354-7220;
eLibrary SPIN: 7766-6626;
e-mail: sergej_senkevich@mail.ru

Sergey Yu. Uytov,

Junior Researcher of the of the Automated Drive
of Agricultural Machinery Laboratory;
ORCID: 0000-0001-9394-5916;
eLibrary SPIN: 7350-1489;
e-mail: s_uytov@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author