

Научная статья

УДК 631.554

DOI: 10.55196/2411-3492-2026-2-52-88-95

Повышение эффективности транспортно-технологического обслуживания процесса уборки зерновых культур

Бэла Луановна Узденова¹, Юрий Ахметханович Шекихачев^{✉2}

Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова, проспект Ленина, 1в, Нальчик, Россия, 360030

¹hajmetova@yandex.ru

^{✉2}shek-fmep@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6300-0823>

Аннотация. Выбор технологий уборки ранних зерновых культур является важным элементом повышения эффективности уборочных работ при недостаточной обеспеченности сельскохозяйственных предприятий комбайнами и зависит от погодных условий в период жатвы. Это является основанием для разработки методов согласования уборочных и транспортных работ при использовании как раздельной технологии, так и технологии прямого комбайнирования. В связи с этим сформулирована цель исследования – изучение ситуационных состояний, возникающих при уборке зерновых культур при согласовании уборочных и транспортных работ, и их влияния на эффективность уборочного процесса. На основании анализа функционирования системы «поле–комбайн–два транспортных средства» установлено, что распределение продолжительности рабочих циклов каждого из транспортных средств должно быть одинаковым. В то же время распределение продолжительности между смежными событиями поступления транспортных средств, готовых обслуживать комбайны, имеет определенное теоретическое распределение. Математическое ожидание этого распределения при идеальном рассмотрении функционирования системы (транспортные средства, поступающие в поле без каких-либо задержек) будет в два раза меньше математического ожидания продолжительности рабочего цикла единичного транспортного средства. Согласование уборочных и транспортных работ достигается при равенстве продолжительностей между смежными заказами комбайнов на выгрузку бункера и между смежными появлениями транспортных средств на поле после обслуживания отдельных заказов. Вероятный характер этих продолжительностей требует определения параметров и теоретических законов их распределений, которые следует заранее прогнозировать и на основе которых следует обосновывать управленческие решения, обеспечивающие согласование соответствующих работ, выбор метода выполнения транспортных работ и установление структуры транспортной подсистемы системы уборки зерновых культур. Использование перегрузчика позволяет снизить простои комбайнов на 12%, что, в свою очередь, повышает их производительность, однако его использование не влияет на продолжительность простоев транспортных средств.

Ключевые слова: зерновые культуры, уборка, транспортировка, комбайн, транспортное средство, согласование

Для цитирования: Узденова Б. Л., Шекихачев Ю. А. Повышение эффективности транспортно-технологического обслуживания процесса уборки зерновых культур // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2026. № 2(52). С. 88–95. DOI: 10.55196/2411-3492-2026-2-52-88-95

Original article

Improving the efficiency of transport and technological services for the grain harvesting process

Bela L. Uzdenova¹, Yuri A. Shekikhachev^{✉2}

Kabardino-Balkarian State Agricultural University named after V.M. Kokov, 1v Lenin Avenue,
Nalchik, Russia, 360030

¹hajmetova@yandex.ru

^{✉2}shek-fmep@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6300-0823>

Abstract. Selecting harvesting technologies for early grain crops is crucial for improving harvesting efficiency when agricultural enterprises lack combine harvesters and when weather conditions during the harvesting period are unfavorable. This provides the basis for developing methods for coordinating harvesting and transportation operations using both separate and direct combining technologies. Therefore, the purpose of this study was formulated: to examine the situational conditions that arise during grain harvesting when coordinating harvesting and transportation operations and their impact on harvesting efficiency. Based on an analysis of the "field-combine-two vehicles" system, it was established that the distribution of the duty cycle durations of each vehicle should be identical. At the same time, the distribution of durations between adjacent arrivals of vehicles ready to service the combines has a specific theoretical distribution. The mathematical expectation of this distribution, under ideal system operation (vehicles arriving in the field without any delays), will be half the mathematical expectation of the duty cycle duration of a single vehicle. Coordination of harvesting and transport operations is achieved by equalizing the durations between successive combine harvester orders for unloading the bin and between successive vehicle arrivals in the field after servicing individual orders. The probable nature of these durations requires defining parameters and theoretical laws governing their distribution. These parameters should be predicted in advance, and this basis should be used to justify management decisions that ensure the coordination of relevant operations, the selection of the transport method, and the establishment of the structure of the grain harvesting system's transport subsystem. Using a reloader reduces combine harvester downtime by 12%, which in turn increases their productivity, but its use does not affect the duration of vehicle downtime.

Keywords: grain crops, harvesting, transportation, combine, vehicle, coordination

For citation: Uzdenova B.L., Shekikhachev Yu.A. Improving the efficiency of transport and technological services for the grain harvesting process. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov.* 2026;2(52):88–95. DOI: 10.55196/2411-3492-2026-2-52-88-95

Введение. Эффективное управление уборочными и транспортными работами при уборке зерновых, в частности их согласование, невозможно без детального анализа ситуаций, характерных для технологических составляющих уборочного процесса. Эти события являются важными элементами модели уборочно-транспортных работ. Однако они не в полной мере характеризуют всю палитру ситуаций, возникающих при взаимодействии между технологическими составляющими уборочного процесса – предметами труда и техническими средствами, с помощью которых работники осуществляют уборку зерна на том или ином поле и транспортировку его на хранение. Отсутствие в моделях учета раз-

личных ситуаций нередко является причиной ошибочных управленческих решений, что способствует снижению эффективности уборочного процесса [1–3].

Известно, что комбайновую уборку зерновых культур можно выполнять по двум основным технологиям – раздельной и прямого комбайнирования. Раздельная технология предполагает сначала укладку созревшей до молочно-восковой спелости зерно-стебельной массы в валки, созревание ее в валках до полной спелости и комбайновое обмолачивание валков. В этом случае время созревания зерно-стебельной массы из восковой до полной спелости сокращается на 5–7 суток [4–8].

Однако при раздельной технологии уборки возникает риск того, что уложенную в валки зерно-стебельную массу может намочить дождь, и дальнейшее пребывание ее в увлажненном состоянии в течение достаточно длительного времени приведет к большим потерям выращенного урожая по сравнению с прямым комбайнированием.

Иными словами, выбор технологии уборки зерновых культур является важным элементом повышения эффективности уборочных работ при недостаточной обеспеченности сельскохозяйственных предприятий комбайнами и зависит от погодных условий в период жатвы. Это является основанием для разработки методов согласования уборочных и транспортных работ при использовании как раздельной технологии, так и технологии прямого комбайнирования [9–11].

Цель исследования – изучение ситуационных состояний, возникающих при уборке зерновых культур при согласовании уборочных и транспортных работ, и их влияния на эффективность уборочного процесса.

Материалы, методы и объекты исследования. Исследования базируются на методах физического и математического моделирования, сравнения. В качестве объекта исследования использованы транспортно-технологические машины, используемые при уборке зерновых культур. Результаты расчетов параметров уборочного процесса обработаны с помощью пакета прикладных программ «Statistica».

Результаты исследования. Анализируя процесс уборки зерновых культур, необходимо раскрыть их причинно-следственные связи, которые системно обуславливают состояние зерно-стебельной массы комбайнов, транспортных средств и являются основанием для их моделирования и обоснования объективных управленческих решений.

Состояние технических средств (зерноуборочных комбайнов и транспортных средств) рассматривается только при организации выполнения уборочно-транспортных работ относительно того или иного поля со зрелым урожаем соответствующей культуры. Иными словами, рассматривается организация выполнения уборочных и транспортных работ, взаимодействие между комбайнами и транспортными средствами, характеризующееся временем начала и завершения определенных (характерных) их состояний.

Состояние технологических составляющих уборочно-транспортной системы в первую очередь определяется методом (формой) организации выполнения транспортных работ.

При условии закрепления за одним комбайном одного транспортного средства во время уборочно-транспортных работ могут возникать следующие ситуации:

1) происходит выгрузка зерна – комбайн и транспортное средство взаимодействуют;

2) выгрузка не производится из-за незаполненности бункера – комбайн работает на поле, транспортное средство осуществляет перевозку;

3) выгрузка не производится из-за незаполненности бункера – комбайн работает на поле, транспортное средство ожидает;

4) выгрузка заполненного бункера не производится из-за отсутствия транспортного средства, находящегося в пути между полем и местом хранения (током).

Таким образом, если не рассматривать во взаимосвязи технологические и технические отказы комбайнов и транспортных средств, то происходят ситуации, характеризующие технические средства в следующих состояниях: комбайн в работе (K_P); комбайн на выгрузке (K_B); комбайн ожидает выгрузку (K_O); транспорт находится на пути (T_D); транспорт ожидает наполнения бункера комбайна (T_O); транспорт загружается (T_3).

Упомянутые ситуации можно отразить через состояние технологических составляющих следующим образом: 1) $K_B T_3$; 2) $K_P T_D$; 3) $K_P T_O$; 4) $K_O T_D$.

Анализ ситуационных состояний указанных технологических составляющих процесса уборки зерновых культур свидетельствует о том, что уборочные и транспортные работы согласованы для первой ($K_B T_3$) и второй ($K_P T_D$) ситуаций. В этом случае ни комбайн, ни транспортное средство не простаивают.

Каждое из четырех ситуационных состояний системы уборки зерновых культур возникает во времени вероятностно и характеризуется определенной продолжительностью

(t_{CC}). Периодичность возникновения указанных ситуационных состояний определяется периодичностью наполнения зерном бункера комбайна (t_{HB}) и периодичностью нахождения транспортного средства в пути между полем и током (t_{DT}).

Если к этим периодичностям соответственно добавить затраты времени на выгрузку бункера (t_{BB}) и загрузку транспортного средства ($t_{ЗТ}$), то имеем в идеале периодичность (длительность) наполнения и выгрузки бункера комбайна ($t_{HB} + t_{BB}$) и загрузки и пребывания в пути между полем и током транспортного средства (t_3).

Рассмотрим теоретическое распределение соответствующих величин – продолжительности рабочего цикла наполнения зерном и выгрузки бункера комбайна ($t_{ЦН} = t_{HB} + t_{BB}$) и продолжительности рабочего цикла загрузки и пребывания в пути (рейсе) между полем и током транспортного транспорта.

При условии, если математическое ожидание продолжительности цикла ($\bar{t}_{ЦК}$) комбайна меньше математического ожидания продолжительности рабочего цикла ($\bar{t}_{ЦТ}$) транспортного средства, то в структуре множества ситуационных состояний следует ожидать доминирования нежелательных ситуаций, характеризующихся состоянием $K_O T_D$, над ситуациями с состоянием $K_P T_O$. Другими словами, при ($\bar{t}_{ЦК} < \bar{t}_{ЦТ}$) простоев комбайна будет больше простоев транспортного средства.

Другую картину будем наблюдать при условии, когда $\bar{t}_{ЦТ} < \bar{t}_{ЦК}$. В этом случае число ситуаций, возникающих за определенный промежуток времени (например, рабочие сутки), характеризующихся состоянием $K_P T_O$, будет больше числа ситуаций с состоянием $K_O T_D$. То есть простои транспортного средства будут доминировать над простоями комбайна.

Простои транспортного средства будут равны простоям комбайна, если математические ожидания продолжительности рабочих циклов комбайна и транспортного средства будут равны между собой:

$$\bar{t}_{ЦТ} = \bar{t}_{ЦК}. \quad (1)$$

Рассмотренные ситуационные состояния технологических составляющих системы уборки зерновых культур при необособленном методе организации транспортных работ также характерны для условия, когда один комбайн обслуживается двумя и более транспортными средствами. В этом случае количество ситуационных состояний технологических составляющих системы может возрастать по мере увеличения количества транспортных средств. По сути, количество транспортных средств определяет количество ситуационных состояний.

Анализируя функционирование системы «поле–комбайн–два транспортных средства», можно сделать вывод, что распределение продолжительности рабочих циклов каждого из транспортных средств должно быть одинаковым.

В то же время распределение продолжительности между смежными событиями поступления транспортных средств, готовых обслуживать комбайны, имеет определенное теоретическое распределение. Математическое ожидание этого распределения при идеальном рассмотрении функционирования системы (транспортные средства, поступающие в поле без каких-либо задержек) будет в два раза меньше математического ожидания продолжительности рабочего цикла единичного транспортного средства.

Рассмотренные ситуационные состояния технологических составляющих системы «поле–комбайн–два транспортных средства» важны для анализа зерноуборочных систем, в которых транспортное обслуживание комбайнов осуществляется обезличенно, то есть когда несколько комбайнов обслуживается несколькими транспортными средствами на основе правила «любой комбайн обслуживается любым транспортным средством». В этом случае количество ситуационных состояний технологических составляющих системы зависит от количества комбайнов и количества транспортных средств, обезличенно их обслуживающих. Обычно на практике количество комбайнов по групповому методу их использования составляет 2–5 единиц. Количество

транспортных средств, их обслуживающих, в основном изменяется в таких же пределах.

Не прибегая к определению количества ситуационных состояний технологических составляющих системы «поле–комбайны–транспортные средства», отметим, что для согласования уборочных и транспортных работ важно знать параметры распределений продолжительностей между смежными заказами комбайнов (\bar{t}_{CK}) (на выгрузку бункера) и межсмежными появлениями транспортных средств. Как и в упомянутом случае, когда один комбайн обслуживает одно транспортное средство, так и в этом случае простои транспортных средств будут доминировать над простоями комбайнов, если $\bar{t}_{CK} < \bar{t}_{CT}$, и наоборот, если $\bar{t}_{CT} < \bar{t}_{CK}$ – будут доминировать простои транспортных средств.

Для определения продолжительности t_{CK} между смежными заказами комбайнов на выгрузку бункера нужно знать продолжительность рабочих циклов каждого комбайна, находящегося в системе «поле–комбайны–транспортные средства». При условии, что комбайнов на поле r -ное число, и распределение продолжительности t_{CKr} каждого из них характеризуется математическим ожиданием \bar{t}_{CKr} , будем иметь:

$$\bar{t}_{CK} = \frac{\sum t_{CKr}}{r}. \quad (2)$$

Аналогичным образом можно прогнозировать математическое ожидание продолжительности \bar{t}_{CT} между смежными появлениями (поступлениями) транспортных средств на поле:

$$\bar{t}_{CT} = \frac{\sum t_{CTr}}{r}. \quad (3)$$

Отметим, что рассматривается система «поле–комбайны–транспортные средства», в которой грузоподъемность бункеров комбайнов и транспортных средств одинакова, что позволяет обезличенное транспортное обслуживание комбайнов.

Особого внимания заслуживает рассмотрение ситуационных состояний технологических составляющих системы «поле–комбайны–перегрузчики–транспортные средства».

Каждый из комбайнов этой системы, как и при предыдущих методах организации транспортных работ, может находиться в трех состояниях: рабочем (K_P), выгружаться (K_{BB}), ожидать (простаивать) выгрузки бункера (K_O).

Перегрузочное средство может находиться в следующих состояниях: загружаться зерном ($П_З$), ожидать погрузки ($П_O$), ожидать разгрузки (перегрузки) ($П_{OP}$) и разгружаться в транспортные средства ($П_{PT}$).

Транспортные средства могут находиться в следующих состояниях: находиться в пути (T_D), ждать загрузки (T_O), загружаться с бункера комбайна ($T_{ЗК}$), загружаться с перегрузочного средства ($T_{ЗП}$).

Ситуационные состояния определяются одновременным состоянием комбайнов, перегрузчиков и транспортных средств.

Анализируя очерченные ситуационные состояния системы, можно заметить, что наиболее нежелательным (непродуктивным) является состояние, когда комбайн простаивает в ожидании выгрузки бункера. Это происходит в двух случаях: когда перегрузчик загружает транспортное средство, а также когда перегрузчик заполнен зерном, а транспортное средство находится на маршруте (в пути) между полем и током.

При использовании резервно-перегрузочного метода транспортного обслуживания комбайнов важное значение имеет выбор очередности обслуживания. В частности, если имеем ситуацию «комбайн готов к выгрузке бункера», и есть альтернатива для погрузки зерна (или в перегрузчик, или в транспортное средство), то следует предпочесть загрузку в транспортное средство. Таким образом избегают выполнения дополнительной операции перегрузки зерна.

Удельные простои технических средств исследованы при расстоянии перевозки зерна 15 км. Моделирование выполнено для следующих характеристик проектной среды: культура – пшеница; урожайность 40 ц/га; соломистость 1,2; длина гона 600 м; уклон поля – до 1%. Установлено, что использование перегрузчика позволяет уменьшить простои комбайнов на 12%. Расчеты показали,

что использование перегрузчика не влияет на простои автомобилей.

Выводы. Согласование уборочных и транспортных работ достигается при равенстве продолжительностей между смежными заказами комбайнов на выгрузку бункера и между смежными появлениями транспортных средств на поле после обслуживания отдельных заказов. Вероятный характер этих продолжительностей требует определения параметров и теоретических законов их распределений, которые следует заранее прогнозировать

и на основе которых следует принимать управленческие решения, обеспечивающие согласование соответствующих работ, выбор метода выполнения транспортных работ и установление структуры транспортной подсистемы системы проекта уборки зерновых культур. Использование перегрузчика позволяет снизить простои комбайнов на 12%, что, в свою очередь, повышает их производительность, однако его использование не влияет на продолжительность простоев транспортных средств.

Список литературы

1. Мусхажиев С. С., Николаев Н. Н., Сенькевич А. А. Исследования и моделирование процессов функционирования уборочно-транспортных групп // Вопросы эксплуатации энергетических установок, транспортных и транспортно-технологических машин и комплексов: материалы всероссийской научно-практической конференции. Зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт. 2020. С. 34–35. EDN: MIWUYE
2. Егоров Р. Н., Коротких Ю. С. Основы транспортных технологий и систем на транспорте: монография. Москва: Автограф, 2021. 220 с. EDN: UNUZBR
3. Андреев О. П., Пильщиков В. Л. Особенности комплектования транспортных звеньев для многофазной уборки зерновых культур // Доклады Тимирязевской сельскохозяйственной академии: сборник трудов конференции. Москва: Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева. 2021. Т. 293. Ч. III. С. 166–169. EDN: OYMMAN
4. Егоров Р. Н., Жарков Д. Ю. Совершенствование уборочно-транспортных процессов в условиях автопредприятия // Чтения академика В. Н. Болтинского: сборник трудов конференции. Москва: ООО Сам полиграфист, 2023. Т. 2. С. 255–261. EDN: MHISHP
5. Егоров Р. Н., Попов Д. В. Анализ факторов нестабильности грузопотока автотранспорта // Чтения академика В. Н. Болтинского: сборник трудов конференции. Москва: ООО Сам полиграфист, 2022. Т. 2. С. 145–150. EDN: TUWRYX
6. Дидманидзе О. Н., Пуляев Н. Н., Егоров Р. Н. Транспортная энергетика: монография. Москва: Автограф, 2021. 152 с. EDN: GDTZMV
7. Дидманидзе О. Н., Пуляев Н. Н., Егоров Р. Н. Оптимизация грузовых автомобильных перевозок: монография. Москва: Автограф, 2021. 146 с. EDN: BBIWPG
8. Егоров Р. Н., Виноградов О. В., Коротких Ю. С. Моделирование и технологии применения транспортно-технологических машин: монография. Москва: Автограф, 2021. 130 с. EDN: PVKVYQ
9. Горячев Ю. О., Бурьянов А. И., Бурьянов М. А. Тенденции в описании функционирования уборочно-транспортных комплексов // Инновационные технологии в науке и образовании – ИТНО-2014: материалы международной научно-методической конференции. Зерноград: Северо-Кавказский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства, 2014. С. 226–235. EDN: TFOWMR
10. Егоров Р. Н., Журилин А. Н. Обеспечение качества перевозки мелкопартионных грузов автомобильным транспортом // Международный технико-экономический журнал. 2020. № 3. С. 62–67. DOI: 10.34286/1995-4646-2020-72-3-62-67. EDN: JVASTM
11. Бурьянов А. И., Бурьянов М. А., Горячев Ю. О. Метод обоснования рациональных составов уборочно-транспортных комплексов для уборки зерновых культур // Техника и оборудование для села. 2013. № 8. С. 36–39. EDN: QZLRIH

References

1. Muskhazhiev S.S., Nikolaev N.N., Senkevich A.A. Research and modeling of the functioning processes of harvesting and transport groups. *Voprosy ekspluatatsii energeticheskikh ustanovok, transportnyh i transportno-tekhnologicheskikh mashin i kompleksov: materialy vserossijskoj nauchno-prakticheskoy*

konferencii [Issues of operation of power plants, transport and transport-technological machines and complexes: materials of the all-Russian scientific and practical conference]. Zernograd: Azovo-Chernomorskij inzhenernyj institut, 2020. Pp. 34–35. (In Russ.). EDN: MIWUYE

2. Egorov R.N., Korotkih Yu.S. *Osnovy transportnyh tekhnologij i sistem na transporte: monografiya* [Fundamentals of Transport Technologies and Systems in Transport: Monograph]. Moscow: Avtograf, 2021. 220 p. (In Russ.). EDN: UNUZBR

3. Andreev O.P., Pil'shchikov V.L. Features of the assembly of transport units for multi-phase harvesting of grain crops. *Doklady Timiryazevskoj sel'skohozyajstvennoj akademii: sbornik trudov konferencii* [Reports of the Timiryazev Agricultural Academy: collection of conference proceedings]. Moscow: Rossijskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet – MSKHA im. K.A. Timiryazeva. 2021;293(3):166–169. (In Russ.). EDN: OYMMAH

4. Egorov R.N., Zharkov D.Yu. Improving harvesting and transport processes in a motor transport enterprise. *Chteniya akademika V.N. Boltinskogo: sbornik trudov konferencii* [Readings of Academician V.N. Boltinsky: collection of conference papers]. Moscow: Sam poligrafist. 2023;2:255–261. (In Russ.). EDN: MHISHP

5. Egorov R.N., Popov D.V. Analysis of factors causing instability in the flow of road freight. *Chteniya akademika V.N. Boltinskogo: sbornik trudov konferencii* [Readings of Academician V.N. Boltinsky: collection of conference papers]. Moscow: Sam poligrafist. 2022;2:145–150. (In Russ.). EDN: TUWRYX

6. Didmanidze O.N., Pulyaev N.N., Egorov R.N. *Transportnaya energetika: monografiya* [Transport Energy: monograph]. Moscow: Avtograf, 2021. 152 p. (In Russ.). EDN: GDTZMV

7. Didmanidze O.N., Pulyaev N.N., Egorov R.N. *Optimizaciya gruzovyh avtomobil'nyh perevozok: monografiya* [Optimization of road freight transport: monograph]. Moscow: Avtograf, 2021. 146 p. (In Russ.). EDN: BBIWPG

8. Egorov R.N., Vinogradov O.V., Korotkih Yu.S. *Modelirovanie i tekhnologii primeneniya transportno-tekhnologicheskikh mashin: monografiya* [Modeling and application technologies of transport and technological machines: monograph]. Moscow: Avtograf, 2021. 130 p. (In Russ.). EDN: PVKVYQ

9. Goryachev Yu.O., Buriyanov A.I., Buriyanov M.A. Trends in the description of the functioning of cleaning and transport complexes. *Innovacionnye tekhnologii v nauke i obrazovanii – ITNO-2014: materialy mezhdunarodnoj nauchno-metodicheskoy konferencii* [Innovative technologies in science and education – ITNO-2014: Proceedings of the international scientific and methodological conference]. Zernograd: Severo-Kavkazskij nauchno-issledovatel'skij institut mekhanizacii i elektrifikacii sel'skogo hozyajstva, 2014. Pp. 226–235. (In Russ.). EDN: TFOWMR

10. Egorov R.N., Zhurilin A.N. Quality assurance for transportation of small cargoes by road transport. *International Technical Journal*. 2020;(3):62–67. (In Russ.). DOI: 10.34286/1995-4646-2020-72-3-62-67. EDN: JVA STM

11. Buriyanov A.I., Buriyanov M.A., Goryachev Yu.O. A method of justification of rational harvesting and transport structure complexes for grain crop harvesting. *Machinery and equipment for rural area*. 2013;(8):36–39. (In Russ.). EDN: QZLRH

Сведения об авторах

Узденова Бэла Луановна – аспирант кафедры технической механики и физики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова»

Шекихачев Юрий Ахметханович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технической механики и физики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», SPIN-код: 4107-1360, Scopus ID: 57205029899, Researcher ID: AAE-3244-2019

Information about the authors

Bela L. Uzdеноva – Graduate student of the Department of Technical Mechanics and Physics, Kabardino-Balkarian State Agricultural University named after V.M. Kokov

Yuri A. Shekikhachev – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Technical Mechanics and Physics, Kabardino-Balkarian State Agricultural University named after V.M. Kokov, SPIN-код: 4107-1360, Scopus ID: 57205029899, Researcher ID: AAE-3244-2019

Авторский вклад. Все авторы принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы ознакомились и одобрили окончательный вариант статьи.

Author's contribution. All authors have directly participated in the planning, execution and analysis of this study. All authors have read and approved the final version of this article.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

*Статья поступила в редакцию 18.03.2026;
одобрена после рецензирования 07.04.2026;
принята к публикации 14.04.2026.*

*The article was submitted 18.03.2026;
approved after reviewing 07.04.2026;
accepted for publication 14.04.2026.*