

Научная статья
УДК 631.354.2
doi: 10.55196/2411-3492-2022-4-38-98-104

Определение кинематических параметров вибратора конвейерной очистки комбайна

Аламахад Дошаевич Бекаров¹, Анатолий Шахбанович Тешев²,
Владислав Хасенович Мишхожев³, Гумар Аламахадович Бекаров⁴,
Алий Халисович Габаев^{✉5}

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

¹alamakhad@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2484-1747>

³mvkkkk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1157-3771>

^{✉5}alii_gabaev@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1973-9804>

Аннотация. Конвейерная очистка является возможной альтернативой ветро-решётной, используемой в качестве рабочего органа в современных зерноуборочных комбайнах как отечественного, так и зарубежного производства. Одним из элементов конвейерной очистки является вибратор (встряхиватель), обеспечивающий малоамплитудные колебания (вибрации) различных участков верхней (сепарирующей) ветви конвейерного решета этой очистки, что способствует интенсификации процесса сепарации на решете. В статье выведено аналитическое выражение, позволяющее определить величину ударного импульса силы, под действием которого происходит каждая вибрация (встряхивание). Полученное выражение позволило установить, что на формирование величины упомянутого импульса силы влияют три параметра: масса участка конвейерного решета, скорость этого решета и угол, образованный направлением движения сепарирующей ветви решета и нормалью к касательной, проведенной к окружностям пары роликов (цепи решета и вибратора) в момент их контакта в точке этого контакта. В статье рассмотрено влияние каждого из этих параметров на формирование величины ударного импульса силы. Установлено, что наибольшее влияние на величину импульса силы оказывает масса участка решета с находящимся на нем ворохом, непосредственно прилегающим к ролику несущей цепи решета в момент его контакта с роликом вибратора.

Ключевые слова: комбайн, очистка, ворох, вибратор, ролик, цепь, сепарация интенсификация, скорость, масса, угол, импульс, сила, вектор

Для цитирования. Бекаров А. Д., Тешев А. Ш., Мишхожев В. Х., Бекаров Г. А., Габаев А. Х. Определение кинематических параметров вибратора конвейерной очистки комбайна // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2022. № 4(38). С. 98–104. doi: 10.55196/2411-3492-2022-4-38-98-104

Original article

Determination of the parameters of the kinematics of the vibrator of the conveyor cleaning of the combine

Alamakhad D. Bekarov¹, Anatoly Sh. Teshev², Vladislav Kh. Mishkhozhev³,
Gumar A. Bekarov⁴, Aliy Kh. Gabaev⁵

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

¹alamakhad@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2484-1747>

³mvkkkk@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-1157-3771>

⁵alii_gabaev@bk.ru, <http://orcid.org/0000-0002-1973-9804>

Abstract. Conveyor cleaning is a possible alternative to wind screen cleaning, which is used as a working body in modern combine harvesters, both in domestic and foreign ones. One of the elements of conveyor cleaning is a vibrator (shaker), which provides low-amplitude oscillations (vibrations) of various sections of the upper (separating) branch of the conveyor sieve of this cleaning, which contributes to the intensification of the separation process on this sieve. The article derives an analytical expression that allows you to determine the magnitude of the impact force impulse, under the influence of which each vibration (shaking) occurs. The resulting expression made it possible to establish that three parameters influence the formation of the magnitude of the mentioned force impulse: the mass of the conveyor sieve section, the speed of this sieve and the angle formed by the direction of movement of the separating branch of the sieve and the normal to the tangent drawn to the circles of a pair of rollers (sieve chain and vibrator) at the moment of their contact at the point of this contact. The article considers the influence of each of these parameters on the formation of the magnitude of the impact force impulse. It has been established that the greatest influence on the magnitude of the force impulse is exerted by the mass of the sieve section with the heap located on it, directly adjacent to the roller of the sieve carrier chain at the moment of its contact with the vibrator roller.

Keywords: harvester, cleaning, heap, vibrator, roller, chain, separation, intensification, speed, mass, angle, momentum, force, vector

For citation. Bekarov A.D., Teshev A.Sh., Mishkhozhev V.Kh., Bekarov G.A., Gabaev A.Kh. Determination of the parameters of the kinematics of the vibrator of the conveyor cleaning of the combine. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov.* 2022;4(38):98–104. (In Russ.). doi: 10.55196/2411-3492-2022-4-38-98-104

Введение. Под очисткой комбайна в данном случае имеем в виду рабочий орган зерноуборочной машины, предназначенный для отделения из зернового вороха половы и прочих примесей. Современные комбайны оснащены, как известно, ветро-решетными очистками, представляющими собой довольно массивное устройство, которое для перемещения вороха и активации его сепарации совершает возвратно-поступательные колебательные движения. Значительная масса очистки в сочетании с колебательным движением приводит к раскачиванию остова комбайна, негативно влияя на работу других рабочих органов машины и долговечность ее службы. Кроме того ветро-решетная очистка имеет недостаточную производительность, особенно при обработке зернового вороха повышенной засоренности.

Перспективная, на наш взгляд, конвейерная очистка обладает более высокой производительностью, не имеет больших колеблющихся масс, допускает мизерные потери – на порядок меньше, чем серийная.

Конвейерная очистка в собранном виде представляет собой решетчатый конвейер, образованный отдельными решетчатыми секциями, прикрепленными винтами к лапкам двух контуров специальной стандартной

транспортной втулочно-роликовой цепи шагом 19,05 мм. Для активизации сепарации вороха в конструкцию очистки входит вибратор [1–4], осуществляющий местные малоамплитудные колебания (вибрации) верхней, сепарирующей ветви решетчатого конвейера. Имеется и вентилятор, воздушный поток от которого направлен под конвейерное решето.

Вибратор представляет собой два уголка, прикрепленных к боковым панелям комбайна. К каждому уголку с определенным шагом приварены оси, на которые надеты ролики бочкообразной формы. Эта конструкция крепится к панелям комбайна под несущей цепью верхней сепарирующей ветви конвейерного решета. При движении цепи ее ролики контактируют с роликами вибратора, в результате чего возникают местные вибрации различных участков верхней ветви конвейерного решета.

Цель исследования – определить действующие при срабатывании вибратора кинематические параметры, влияющие на величину и направление импульса силы удара и скорость.

Объект исследования – очистка зерноуборочного комбайна.

Результаты исследования. Анализируя возможные варианты взаимодействия роликов цепи и решета, можно заключить, что при малой скорости решета более вероятно простое перекачивание ролика цепи по ролику вибратора. В этом случае никакого существенного влияния на ворох оказываться не будет, и свое назначение как фактор интенсификации вибратор выполнять не будет.

Однако при скорости решета 0,3 м/с и более каждый контакт ролика несущей цепи решета с роликом вибратора будет приводить к удару. А при ударе ролик цепи, а вместе с ним ближайший к нему участок решета с находящимся на нем ворохом, будет подсакивать. Но сама ветвь решета сразу же опустится, так как на нее будет действовать изначальное натяжение от привода. А вот ворох, находившийся на этом участке решета, оторвется от поверхности решета и совершит кратковременный, но свободный полет. В этом полете траектории и скорости легких частиц (половы) и более тяжелых (зерна) будут различны, что приведет к разрыхлению и интенсификации процесса сепарации вороха. Амплитуда участка решета при этом мала, а самих таких «подскоков» даже при малой скорости решета 0,3 м/с будет 15с^{-1} . А с увеличением скорости решета, разумеется, и число вибрации будет расти. Поэтому и получаются малоамплитудные колебания, то есть вибрации.

При скоростях решета, необходимых для нормальной (эффективной) сепарации вороха, взаимодействие роликов несущей цепи решета и вибратора мы определили выше как удар. В механике под ударом понимается «случай движения материального объекта, когда векторы скорости его точек резко изменяются за весьма малый промежуток времени», что математически можно представить выражением [5]:

$$S = \lim_{\Delta \rightarrow 0} \left[\int_t^{t+\Delta t} F \cdot dt \right],$$

где:

S – ударный импульс силы, который определяется выражением

$$S = mV'' - mV'.$$

Здесь mV' и mV'' – количество движения тела соответственно до удара и после него.

Наше изначальное определение взаимодействия роликов несущей цепи конвейерного решета и роликов вибратора термином «удар» полностью совпадает с определением явления удара, принятом в механике. В связи с этим нам необходимо определить параметры этого удара: величины импульса силы удара (в нашем случае действующий на участок решета прилегающий к участвующему в ударе ролику несущей цепи решета), скорость и их направление.

На основании того, что ролик вибратора по наружному диаметру скруглен (т. е. имеет бочкообразную форму), считаем, что удар происходит в точке, а ролик цепи решета рассматриваем как точку, имеющую некую массу m и скорость V_d . Оба контактирующих ролика стальные, и, стало быть, тела упругие, а потому и удар считаем упругим. Ролик несущей цепи движется, а ролик вибратора неподвижен.

В рассматриваемом случае удар не прямой. Перед ударом направление скорости ролика цепи V_d образует некий угол α с нормалью nA , проведенной к касательной к окружностям роликов в точке их контакта A , где и происходит удар. Произведем обозначения: скорость ролика цепи в конце удара $V_{0\tau}$, а проекции скоростей V_0 и V_d на касательную τA и нормаль nA – соответственно $V_{0\tau}$, V_{0n} , $V_{d\tau}$ и V_{dn} .

Направление реакции ролика вибратора – по нормали nA .

Поэтому проекция этой силы на касательную τA равна нулю.

На основании теоремы о проекции количеств движения можно записать:

$$mV_{0\tau} - mV_{d\tau} = 0 \text{ или } V_{0\tau} = V_{d\tau}.$$

При определении проекции скорости на нормаль nA используем способ определения аналогичной проекции при прямом ударе:

$$|V_{0n}| = k|V_{dn}| \text{ или } V_{0n} = -k|V_{dn}|,$$

где:

k – коэффициент восстановления, который определен опытным путем и равен для стали $k = 5/9$.

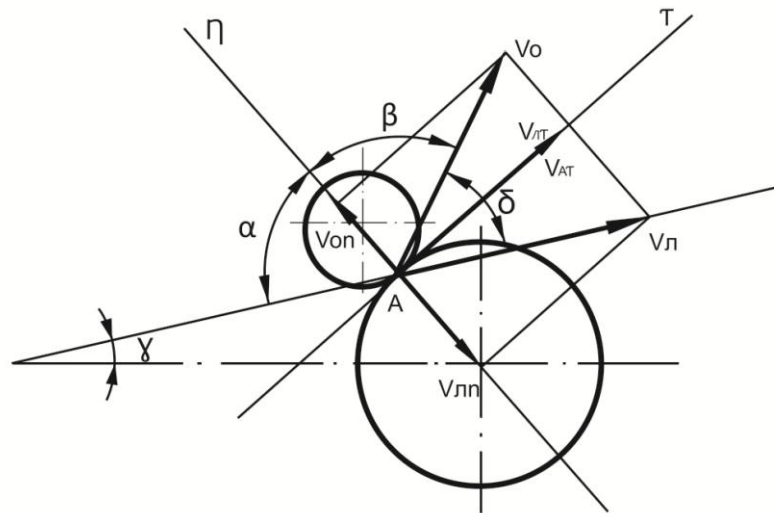


Рисунок 1. Схема скоростей, возникающих при соударении роликов решета и вибратора
Figure 1. Scheme of velocities arising from the collision of the sieve and vibrator rollers

Обозначив угол между вектором скорости V_0 и нормалью nA равен β , запишем:

$$V_{0n} = V_0 \cos \beta \text{ и } V_{0\tau} = V_0 \sin \beta.$$

Аналогично:

$$V_{лн} = V_{л} \cos \alpha \text{ и } V_{л\tau} = V_{л} \sin \alpha,$$

где:

α – угол между скоростью $V_{л}$ и нормалью nA .

Введем полученные значения в предыдущие равенства и имеем:

$$V_0 \sin \beta = V_{л} \sin \alpha \text{ и } V_0 \cos \beta = k V_{л} \cos \alpha. \quad (1)$$

Возведем оба выражения (1) в квадрат и почленно сложим:

$$V_0^2 (\sin^2 \beta + \cos^2 \beta) = V_{л}^2 (\sin^2 \alpha + k^2 \cos^2 \alpha).$$

Поскольку множитель в левой части уравнения согласно основным тригонометрическим тождествам равен единице, можем записать:

$$V_0^2 = V_{л}^2 (\sin^2 \alpha + k^2 \cos^2 \alpha).$$

Тогда очевидно:

$$V_0 = V_{л} \sqrt{\sin^2 \alpha + k^2 \cos^2 \alpha}. \quad (2)$$

А если уравнения (1) почленно разделить, то имеем:

$$\frac{V_0 \sin \beta}{V_0 \cos \beta} = \frac{V_{л} \sin \alpha}{k V_{л} \cos \alpha}, \quad (3)$$

что приводит к виду $\operatorname{tg} \beta = \frac{1}{k} \operatorname{tg} \alpha$.

Полученные выражения (2) и (3) позволяют определить как модуль, так и направление скорости V_0 , а следовательно, и ударного импульса силы, величина которого будет:

$$S = m V_0.$$

Введя в это выражение значение V_0 из формулы (2), получим:

$$S = m V_{л} \sqrt{\sin^2 \alpha + k^2 \cos^2 \alpha}. \quad (4)$$

Выражение (4) может быть несколько упрощено следующим образом:

$$\begin{aligned} S &= m V_{л} \sqrt{1 - \cos^2 \alpha + k^2 \cos^2 \alpha} = \\ &= m V_{л} \sqrt{1 - \cos^2 \alpha (1 - k^2)}. \end{aligned}$$

Подставив $k=5/9=0,556$, имеем:

$$S = m V_{л} \sqrt{1 - 0,69 \cos^2 \alpha} \quad (5)$$

Следовательно, величина ударного импульса зависит, кроме массы и линейной скорости конвейерного решета, также от угла α .

Характер и степень этого влияния иллюстрируется графиками (см. рис. 1-3).

Как видно из уравнения (5) и графиков (рис. 1-3), влияние на величину ударного импульса S скорости решета $V_{л}$ и массы m – линейное, а угла α – криволинейное. Нетрудно догадаться, что кривая на графике (рис. 3) представляет собой фрагмент косинусоиды, так как в уравнении (5) угол α связан с функцией косинус.

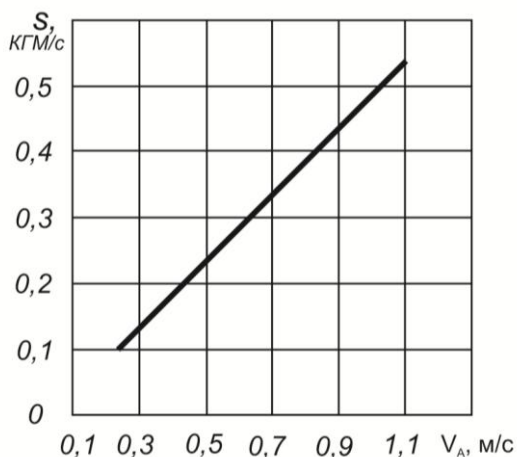


Рисунок 2. Величина ударного импульса в зависимости от скорости решета (V_n) (при $m = 0,5$, $\alpha = 19^\circ$)

Figure 2. The magnitude of the shock impulse depending on the speed of the sieve (V_n) (at $m = 0.5$, $\alpha = 19^\circ$)

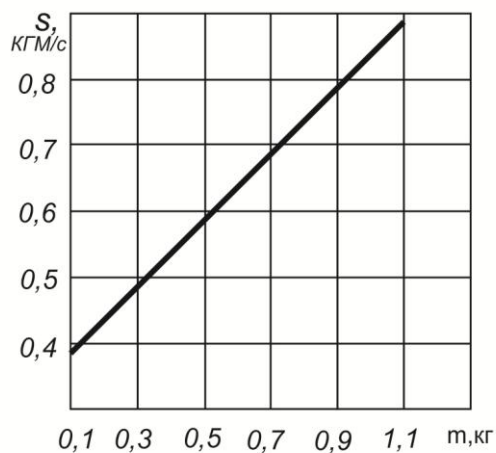


Рисунок 3. Величина ударного импульса в зависимости от массы участка решета (m) (при $\alpha = 19^\circ$, $V_n = 0,1 \text{ м/с}$)

Figure 3. The magnitude of the shock impulse depending on the mass of the sieve section (m) (at $\alpha = 19^\circ$, $V_n = 0.1 \text{ m/s}$)

Наибольшее влияние на величину ударного импульса, если рассматривать в рамках реально возможных значений параметров V_n , m и α , оказывает масса участка решета, сосредоточенная теоретически в точке ролика решета, в которой он контактирует с роликом вибратора в момент удара. Масса эта складывается из массы нескольких звеньев несущей цепи, массы прикрепленных к ним секции решета и массы слоя вороха сравни-

тельно равномерно распределенного по поверхности решета [6, 7]. Если массы звеньев цепи и секции решета для данной конструкции очистки величины постоянные, то масса вороха, распределившегося на решете, – величина переменная, зависящая от ряда факторов (подача в молотилку и соответственно на очистку, вид убираемой культуры, ее урожайность, влажность зерна и других компонентов, засоряющих ворох, и т. д.). Однако надо иметь в виду, что масса распределенного по решету слоя вороха существенно меньше, чем суммарная масса нескольких секции решета и звеньев цепи, участвующих в единичном ударе. Поэтому изменение массы слоя вороха на решете в пределах реально возможных в данных конкретных условиях уборки урожая значений вряд ли окажет существенное влияние на формирование величины ударного импульса.

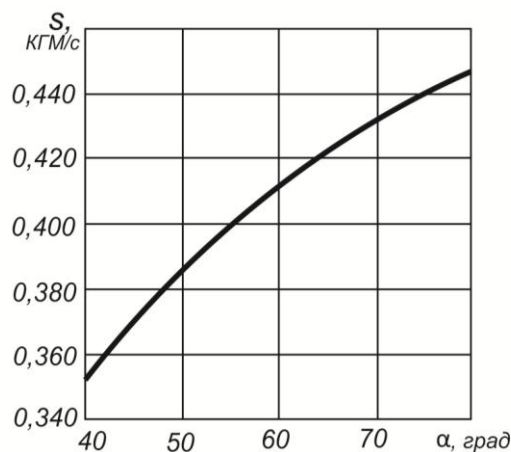


Рисунок 4. Величина ударного импульса в зависимости от угла α (при $m = 0,5$, и $V_n = 0,9 \text{ м/с}$)

Figure 4. The magnitude of the shock impulse depending on the angle α (at $m = 0.5$, and $V_n = 0.9 \text{ m/s}$)

Выводы. 1. Вибратор в конструкции конвейерной очистки необходим для обеспечения отрыва слоя обрабатываемого вороха от поверхности решета и интенсификации этим процесса его сепарации.

2. Параметры траектории (высота, дальность, скорость) частиц вороха зависят от величины ударного импульса силы, возникающего в момент контакта роликов несущей цепи решета и вибратора, а также от направления этого импульса силы.

3. Величина ударного импульса силы зависит от трех параметров (массы участка решета с распределенным на нем ворохом, скорости решета и угла α , образованного направлением движения сепарирующей ветви решета и нормалью к касательной, проведенной к окружности пары роликов (цепи

решета и вибратора), что видно из формулы (6), которая представлена выше.

4. Установлено, что в пределах реально возможных значений параметров V_n , m и α , наибольшее влияние на формирование величины ударного импульса силы оказывает параметр m – масса участка решета с находящимся на нем в момент удара ворохом.

Список литературы

1. Бекаров А. Д. Комбайновые сепараторы зернового вороха. Нальчик, 2003. 113 с.
2. Бекаров А. Д., Мишхожев В. Х., Габаев А. Х. Оптимальные значения линейной скорости конвейерного решета очистки зерноуборочного комбайна // Вестник КрасГАУ. 2018. № 5(140). С. 150–154.
3. Бекаров А. Д., Озрокова Т. Г. Параметры пассивного встряхивателя (вибратора) решета конвейерной очистки зерноуборочного комбайна // АгроЭкоИнфо. 2018. № 4(34). Ст. 59.
4. Четыркин Б. Н., Косилов Н. И., Стеничев М. Г., Романов В. В. Результаты испытаний комбайна с пневмоинерционной очисткой // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства, 1985. № 6. С. 39–40.
5. Денисов Ю. В., Клиньских Н. А. Теоретическая механика: учебник. Екатеринбург: УрФУ, 2013. 474 с.
6. Кленин Н. И., Ломакин С. Г., Бердышев В. Е. Исследование транспортерно-колебательной очистки к зерноуборочному комбайну // Тракторы и сельхозмашины. 1980, № 12. С. 13–15.
7. Валиев Х. Х. Исследование рабочего процесса очистки зернового вороха конвейерно-роторным решетом // Труды НИПТИМЭСХ С.-З. № 20. Ленинград, 1976. С. 109–113.

References

1. Bekarov A.D. *Kombaynovyye separatory zernovogo vorokha* [Combine separators of grain heap]. Nal'chik, 2003. 113 p. (In Russ.)
2. Bekarov A.D., Mishkhozhev V.Kh., Gabaev A.Kh. Optimal values of linear speed of the conveyor sieve for grain combine harvester cleaning. *The Bulletin of KrasGAU*. 2018;5(140):150–154. (In Russ.)
3. Bekarov A.D., Ozroкова T.G. Parameters of the passive shaker (vibrator) of the conveyor cleaning sieve of the combine harvester. *AgroEcoInfo*. 2018;4(34). Art. 59. (In Russ.)
4. Chetyrkin B.N., Kosilov N.I., Stenichev M.G., Romanov V.V. Results of testing a combine with pneumatic inertial cleaning. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sotsialisticheskogo sel'skogo khozyaystva* [Mechanization and electrification of socialist agriculture]. 1985;(6):39-40.(In Russ.)
5. Denisov Yu.V., Klinskikh N.A. *Teoreticheskaya mekhanika* [Theoretical mechanics]: *uchebnik*. Yekaterinburg: UrFU, 2013. 474 p. (In Russ.)
6. Klenin N.I., Lomakin S.G., Berdyshhev V.Ye. Research of conveyor-oscillatory cleaning for a grain harvester. *Traktory i sel'khoz mashiny* [Tractors and agricultural machines]. 1980;(12):13–15. (In Russ.)
7. Valiev Kh.Kh. Study of the working process of cleaning a grain heap with a conveyor-rotary sieve. *Tруды NIPTIMESKH S.-Z*. Vol. 20. Leningrad. 1976;(20):109–113. (In Russ.)

Сведения об авторах

Бекаров Аламахад Дошаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры механизации сельского хозяйства, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», SPIN-код: 9046-0656, Author ID: 799840

Тешев Анатолий Шаханович – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры механизации сельского хозяйства, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», SPIN-код: 8373-7021, Author ID: 751799

Мишхожев Владислав Хасенович – кандидат технических наук, зав. кафедрой механизации сельского хозяйства, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», SPIN-код: 9119-3664, Author ID: 386453

Бекаров Гумар Аламахадович – кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», Author ID: 271651

Габаев Алий Халисович – кандидат технических наук, доцент кафедры механизации сельского хозяйства, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», SPIN-код: 1264-0376, Author ID: 835404

Information about the authors

Alamakhad D. Bekarov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Agricultural Mechanization, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 9046-0656, Author ID: 799840

Anatoliy Sh. Teshev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Agricultural Mechanization, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 8373-7021, AuthorID: 751799

Vladislav Kh. Mishkhozhev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Agricultural Mechanization, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 9119-3664, Author ID: 386453

Gumar A. Bekarov – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Economics, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, Author ID: 271651

Aliy Kh. Gabaev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Agricultural Mechanization, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 1264-0376, Author ID: 835404

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

Author's contribution. All authors of this study were directly involved in the planning, execution and analysis of this study. All authors of this article reviewed and approved the submitted final version.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

*Статья поступила в редакцию 09.11.2022;
одобрена после рецензирования 29.11.2022;
принята к публикации 05.12.2022.*

*The article was submitted 09.11.2022;
approved after reviewing 29.11.2022;
accepted for publication 05.12.2022.*