

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-624086>

Оригинальное исследование



# Статическое и динамическое воздействие сил на обмолачиваемый початок кукурузы

В.М. Погосян, А.А. Полуэктов

Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», Краснодар, Российская Федерация

## АННОТАЦИЯ

**Обоснование.** Скоростной киносъёмкой установлено, что початок, попадая в зазор молотильного аппарата, в большинстве случаев занимает положение, параллельное оси барабана. Примем, что плоскость действия рабочего элемента молотильного барабана (бича) совпадает с образующей початка. Початок при встрече с бичом вращающегося барабана изменяет режим движения в результате удара бича по початку. Удар может произойти тогда, когда початок ещё не достигнет планок деки, то есть початок получит удар «влёт».

**Цель исследования** — определение статического и динамического воздействия сил на обмолачиваемый початок кукурузы, расчёт необходимой силы отрыва зерновки от початка в зависимости от коэффициента трения.

**Материалы и методы.** Величина механического воздействия рабочих органов молотилки снопов универсальной (МСУ) на зерно кукурузы в початке ограничивается не только прочностными свойствами защитной плодовой оболочки, а также силой связи зерна со стержнем в области носка, середины и комля. Знание данной механико-технологической характеристики позволяет повысить уровень дифференцирования силового воздействия на початки кукурузы со стороны рабочих органов применяемых машин. Указанное обстоятельство позволяет транспортировать початки кукурузы без листовой обёртки, ориентировать их в пространстве и дозированно подавать на соответствующую обработку, а также обмолачивать без нанесения зерну макро- и микроповреждений.

**Результаты.** Изменение влажности зерна, а следовательно, и изменение коэффициента трения зерна по зерну также влияет на соотношение между приложенной нагрузкой  $P$  и реактивной силой  $N$ . При одинаковой нагрузке  $P$ , приложенной к сухому и влажному початку, давление  $N$  на сухое зерно больше, чем на влажное, и вымолот зёрен у сухих початков кукурузы осуществляется с меньшими внешними силами  $P$  при свободном прямом ударе.

**Заключение.** Процесс обмолота ударом «влёт» затрудняется с увеличением влажности кукурузных початков ввиду увеличения трения зерна по зерну. Обмолот початков кукурузы свободным ударом прекращается при влажности зерна, соответствующей коэффициенту трения  $f = 0,22$ . Выведенные теоретические закономерности подтвердились экспериментальным путём.

**Ключевые слова:** початок; трение; усилие; разрушение; зерно; прочность; влажность.

## Как цитировать:

Погосян В.М., Полуэктов А.А. Статическое и динамическое воздействие сил на обмолачиваемый початок кукурузы // Тракторы и сельхозмашины. 2024. Т. 91, № 3. С. 369–374. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-624086>

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-624086>

Original Study Article

# Static and dynamic influence of forces on a being threshed corncob

Vladimir M. Pogosyan, Alexander A. Poluektov

Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation

## ABSTRACT

**BACKGROUND:** With the use of high-speed shooting, it was found that the corncob, getting into the gap of the threshing unit, generally, takes a position parallel to the drum axis. Let us accept that the plane of operation of the working body of the threshing drum – the beater – coincides with the generatrix of a cob. The cob changes the motion mode because of the impact of the threshing machine beater on the cob. The impact can take place in the moment when the cob even does not hit the deck cleats, so the cob gets a flying kick.

**AIM:** Deriving the static and dynamic influence of forces on the being threshed corncob. Defining the necessary force of corn seeds breaking-off from the cob in dependence on the friction coefficient.

**METHODS:** The value of mechanical impact of working bodies of the orienting-metering loading device and the threshing-separating device on a corn seed is limited not only by strength properties of the protecting corn cover, but by the link strength between a seed and a cob in the nose, middle and root areas. Knowledge of this mechanical-technological property helps to increase the level of variability of force impact in corncobs from the side of working bodies of the used machinery. It helps to transport the corncobs without husk, to orient them in space, to supply in small increments for the proper processing and, in addition, to thresh without causing any macro- and microdamages to the seeds.

**RESULTS:** The seed moisture change and, consequently, the seed-to-seed friction coefficient change also influences on the ratio between the applied force  $P$  and the reacting force  $N$ . With the same load  $P$  applied to the dry and the moisty cobs, the pressure  $N$  on the dry seed is higher than on the moisty one, and seed threshing from the dry cobs is conducted with lower external forces  $P$  at free direct impact.

**CONCLUSION:** The process of the flying kick threshing becomes more difficult with the increase of corncobs moisture due to increase of seed-to-seed friction. The flying kick threshing of corncobs stops at the seed moisture which corresponds to the friction coefficient  $f = 0.22$ . The obtained theoretical principles are confirmed experimentally.

**Keywords:** corncob; friction; force; fracture; seed; strength; moisture.

## To cite this article:

Pogosyan VM, Poluektov AA. Static and dynamic influence of forces on a being threshed corncob. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2024;91(3):369–374. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-624086>

Received: 30.11.2023

Accepted: 07.07.2024

Published online: 12.08.2024

## ВВЕДЕНИЕ

Скоростной киносъёмкой установлено, что початок, попадая в зазор молотильного аппарата, в большинстве случаев занимает положение, параллельное оси барабана. Примем, что плоскость действия рабочего элемента молотильного барабана (бича) совпадает с образующей початка. Початок при встрече с бичём вращающегося барабана изменяет режим движения в результате удара бича по початку. Удар может произойти тогда, когда початок ещё не достигнет планок деки, то есть початок получит удар «влёт». Рассмотрим процесс отделения зерна от стержня початка при ударе «влёт», при условии, что динамическая нагрузка направлена к центру початка.

Цель исследования состоит в том, чтобы определить статическое и динамическое воздействие сил на обмолачиваемый початок кукурузы, а также определить необходимую силу отрыва зерновки от початка в зависимости от коэффициента трения.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Величина механического воздействия рабочих органов однопочаткового дробильно-зернового агрегата (ОДЗА) и МСУ на зерно кукурузы в початке ограничивается не только прочностными свойствами защитной плодовой оболочки, а также силой связи зерна со стержнем в области носка, середины и комля. Знание данной механико-технологической характеристики позволяет повысить уровень дифференцирования силового воздействия на початки кукурузы со стороны рабочих органов применяемых машин. Это позволяет транспортировать початки кукурузы без листовой обёртки, ориентировать их в пространстве и дозированно подавать на соответствующую обработку, а также обмолачивать без нанесения зерну макро- и микроповреждений.

С целью дальнейшего развития данного направления исследований осуществлялось уточнение данных по усилию выдёргивания одиночного зерна из носка, середины и комля початка кукурузы различных подвидов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Если обозначить силу, приложенную к початку, через  $P$ , массу початка через  $M_n$  и ускорение через  $j$ , то величина силы можно определить из выражения:

$$P = M_n \cdot j \quad (1)$$

Зерна под действием силы  $P$  будут перемещаться к центру початка как клинья, выдавливая из початка соседние зерна, на боковых гранях которых будут возникать силы реакции  $N$  и силы трения  $F$  (рис. 1).

Согласно принципу Даламбера, составим для движения зерна уравнение равновесия. Все действующие силы,

указанные на рис. 1, спроектируем на ось, совпадающую с направлением действующей силы  $P$ :

$$m_3 j + 2F \cdot \cos \frac{\alpha}{2} + 2N \cdot \sin \frac{\alpha}{2} - P = 0 \quad (2)$$

Для установления зависимости между приложенной силой  $P$  и реакцией связей упростим полученное уравнение, заменяя динамический процесс обмолота початков аналогичным процессом, протекающим в статических условиях. Когда початок кукурузы постепенно сжимается между параллельными плоскостями, тогда ускорение  $J = 0$ , а сила:

$$P = 2F \cdot \cos \frac{\alpha}{2} + 2N \cdot \sin \frac{\alpha}{2}$$

но

$$F = f \cdot N$$

и тогда

$$P = 2N \cdot \left( \sin \frac{\alpha}{2} + f \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \right) \quad (3)$$

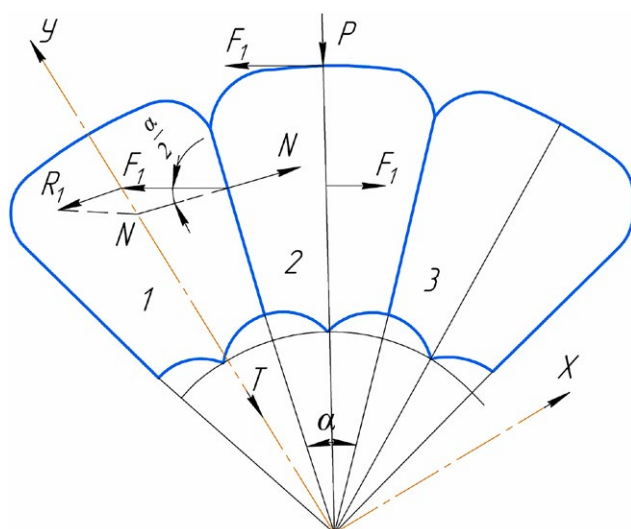
Сила  $P$ , действует на зерно, перемещает его к центру початка, не отделяя от стержня. Зерно, перемещаясь к центру початка, передаёт усилия на соседние зерна.

Выделим зерно (рис. 2) и рассмотрим действие сил  $N$  и  $F$ , возникающих от взаимодействия силы  $P$  с зерном 2.

Равнодействующая этих сил

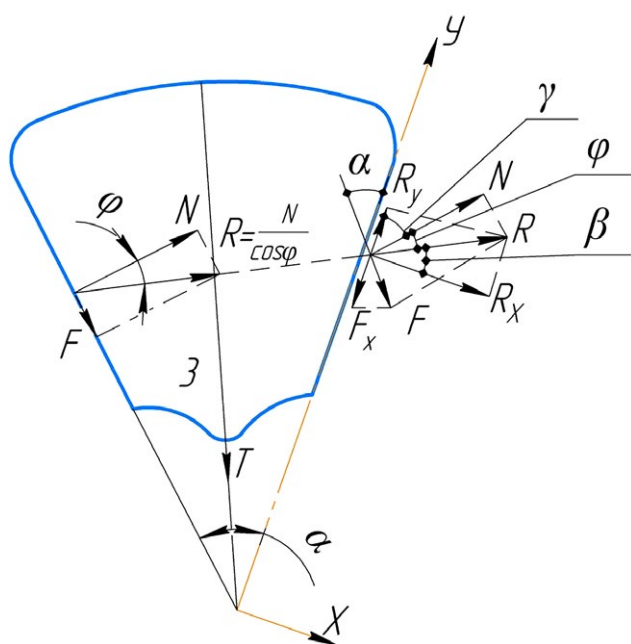
$$R = \sqrt{N^2 + (f \cdot N)^2} \quad \text{или} \quad R = \frac{N}{\cos \varphi} \quad (4)$$

является внешней силой, разрушающей связь зерна 3 со стержнем початка (см. рис. 2).



**Рис. 1.** Схема действия возникающих реактивных сил при взаимодействии силы  $P$  с зерном кукурузы в початке.

**Fig. 1.** The load diagram of arising reaction forces at interaction of the force  $P$  with the corn seed in a cob.



**Рис. 2.** Схема действия реактивных сил  $N$  и  $F$  и их равнодействующей  $R$  на соседнее зерно кукурузы в початке.

**Fig. 2.** The load diagram of reactive forces  $N$  and  $F$  and their magnitude  $R$  at the adjacent corn seed in a cob.

Действие этой силы направлено от центра початка по касательной. Сила  $R$  вызывает на другой боковой грани зерна 3 реакцию  $R_x$  и силу трения  $F_x$ . Сила трения  $F_x$  и сила связи зерна со стержнем  $T$  будут препятствовать отделению зерна от стержня початка.

Для установления зависимостей между силами, действующими на зерно, составим в векторной форме дифференциальное уравнение движения зерна в направлении оси:

$$m_3 j = R \cdot \sin \beta - F_x - T \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \quad (5)$$

угол  $\gamma = 90 - \alpha$

угол  $\beta = 90 - (\varphi + \gamma) = 90 - (\varphi + 90 - \alpha) = \alpha - \varphi$

$$R_x = R \cdot \cos \beta = R \cdot \cos(\alpha - \varphi) = f \cdot \frac{N}{\cos \varphi} \cdot \cos(\alpha - \varphi)$$

$$F_x = f \cdot R_x = f \cdot R \cdot \cos(\alpha - \varphi) = f \cdot \frac{N}{\cos \varphi} \cdot \cos(\alpha - \varphi)$$

$$R_y = R \cdot \sin \beta = R \cdot \sin(\alpha - \varphi)$$

Подставляя значение этих величин в уравнение (5), получим:

$$m_3 j = \frac{N}{\cos \varphi} \cdot \sin(\alpha - \varphi) - f \cdot \frac{N}{\cos \varphi} \cdot \cos(\alpha - \varphi) - T \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \quad (6)$$

Приравняем  $j = 0$  и решаем уравнение относительно силы связи зерна со стержнем  $T$ :

$$T = \frac{N}{\cos \varphi \cdot \cos \frac{\alpha}{2}} \cdot [\sin(\alpha - \varphi) - f \cdot \cos(\alpha - \varphi)] \quad (7)$$

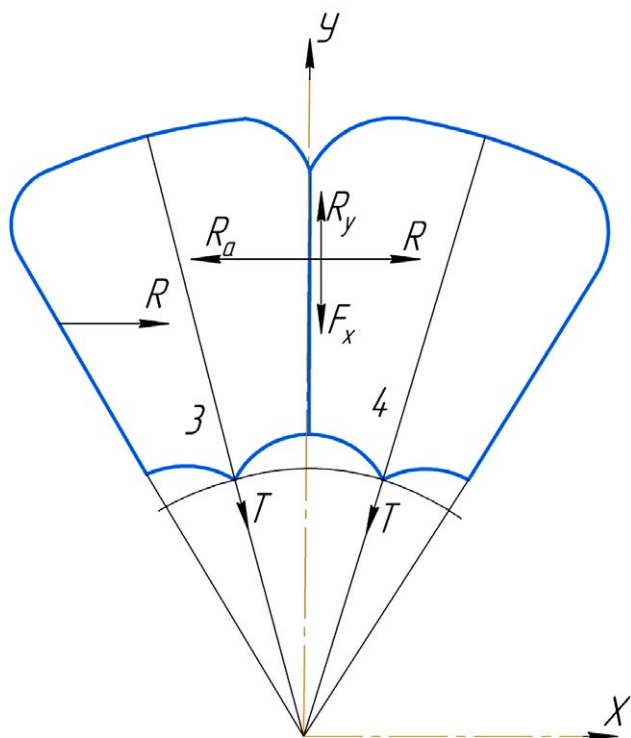
Из уравнения (7) видно, что отделение зерна от стержня початка при свободном прямом ударе в центр початка (динамическое воздействие) возможно при условии выполнения неравенства:

$$\sin(\alpha - \varphi) > f \cdot \cos(\alpha - \varphi) \quad (8)$$

В случае равенства реакция зерновой ножки  $T$  равна 0 и, следовательно, на зерновую ножку сила от центра початка по радиусу не действует.

Физический смысл выражения (8) заключается в том, что вектор  $R$  на противоположной грани зерна 3 (рис. 3) будет в этом случае направлен перпендикулярно к грани зерна, а составляющий вектор  $R_y = 0$ .

Сила, необходимая для разрушения зерновой ножки (отделение зерна от стержня початка), будет тем меньше,



**Рис. 3.** Схема действия равнодействующей  $R$  сил  $N$  и  $F$  на соседнее зерно кукурузы в початке.

**Fig. 3.** The load diagram of the magnitude  $R$  of the forces  $N$  and  $F$  at the adjacent corn seed in a cob.

чем в большей мере левая часть неравенства (8) будет превышать правую. С увеличением угла  $\alpha$  увеличивается клиновидность зерна, а следовательно, облегчается обмолот кукурузных початков, у которых количество рядов зерен на початке наименьшее. С увеличением влажности кукурузных початков процесс обмолота ударом затрудняется ввиду увеличения трения зерна по зерну.

На графике (рис. 4) приведена, для наглядности, рассчитанная по формуле (7) зависимость между отношением силы  $P$  к разрывному усилию  $T$  зерновой ножки и величиной коэффициента трения. Из этого графика видно, что вымолот зерна прямым свободным ударом из кукурузных початков прекращается при влажности зерна, соответствующей коэффициенту трения  $f = 0,22$ .

Изменение влажности зерна, а следовательно, и изменение коэффициента трения зерна по зерну также влияет на соотношение между приложенной нагрузкой  $P$  и реактивной силой  $N$  (рис. 5). При одинаковой нагрузке  $P$ , приложенной к сухому и влажному початку, давление  $N$  на сухое зерно больше, чем на влажное, и вымолот зёрен у сухих початков кукурузы осуществляется с меньшими внешними силами  $P$  при свободном прямом ударе.

## ВЫВОД

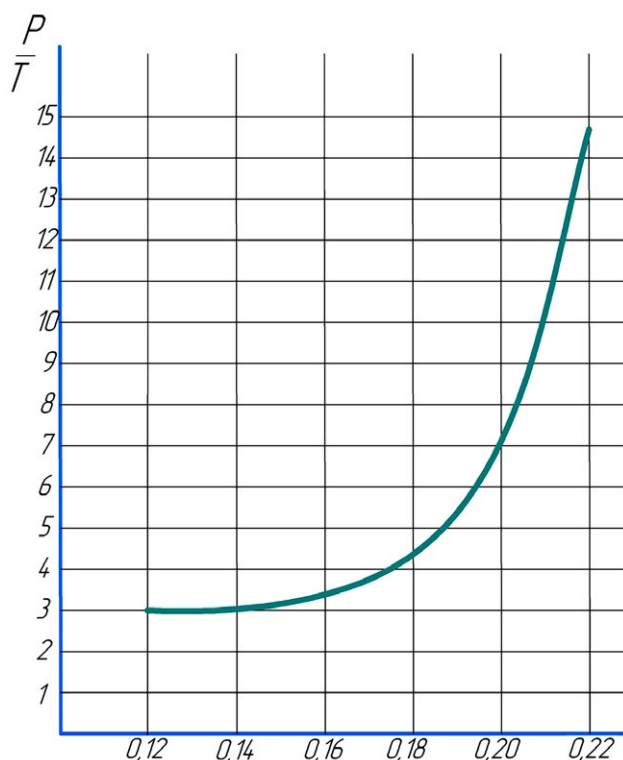
Отделение зерна от стержня початка при свободном прямом ударе в центр початка возможно при условии неравенства выражения (8). Процесс обмолота ударом «влет» затрудняется с увеличением влажности кукурузных початков ввиду увеличения трения зерна по зерну. Обмолот початков кукурузы свободным ударом прекращается при влажности зерна, соответствующей коэффициенту трения  $f = 0,22$ . Выведенные теоретические закономерности подтвердились экспериментальным путём.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

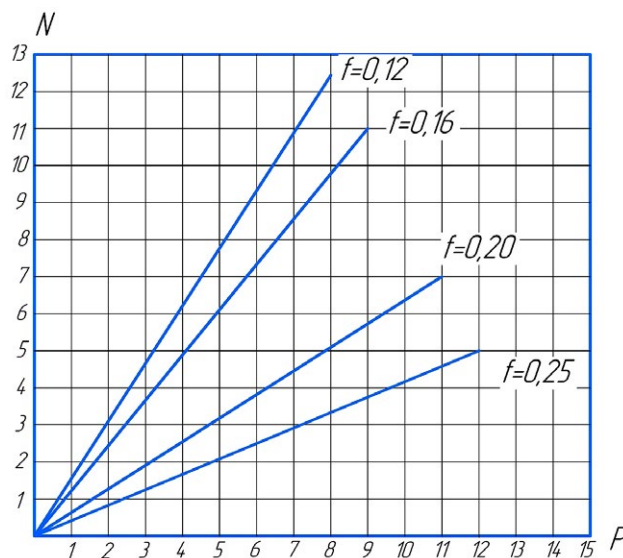
**Вклад авторов.** В.М. Погосян — поиск публикаций по теме статьи, написание текста рукописи; А.А. Полуэктов — редактирование текста рукописи. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования 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.** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.



**Рис. 4.** Зависимость между отношением силы  $P$  к разрывному усилию  $T$  зерновой ножки и величиной коэффициента трения  $f$ .  
**Fig. 4.** Dependence of the ratio of the force  $P$  and the braking load  $T$  of a seed link on the friction coefficient  $f$ .



**Рис. 5.** Зависимость между реактивной силой  $N$  и приложенной нагрузкой  $P$  в связи с изменением влажности зерна (то есть изменением коэффициента трения  $f$ ).  
**Fig. 5.** Dependence of the reacting force  $N$  on the applied load  $P$  related to the seed moisture change (i.e. friction coefficient  $f$  change).

## ADDITIONAL INFORMATION

**Authors' contribution.** V.M. Pogosyan — search for publications, writing the text of the manuscript; A.A. Poluektov — editing the text of the manuscript. 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.** This study was not supported by any external sources of funding.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бахарев, Д.Н. Совершенствование технологии послеуборочной обработки початков семенной кукурузы на основе технических решений поэтапного обмолота: дисс. д-ра техн. наук. Мичуринск, 2022. EDN: AJYLGС
2. Капустин А.С., Капустин С.И., Азиз Б. и др. Сортовая технология кукурузы. Луганск: Луганский национальный аграрный университет, 2013.
3. Пастухов А.Г., Бахарев Д.Н. Молотильно-сепарирующее устройство для первичного семеноводства кукурузы // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2020. Т. 14, № 1. С. 34–39. doi: 10.22314/2073-7599-2020-14-1-34-39
4. Курасов В.С. Механико-технологическое обоснование комплекса технических средств для селекции, сортоиспытания

и первичного семеноводства кукурузы: дис. д-ра техн. наук. Краснодар, 2003.

5. Погосян В.М. Селекционная кукурузная молотилка // Тракторы и сельхозмашины. 2019. № 5. С. 16–20. doi: 10.31992/0321-4443-2019-5-16-20 EDN: NPLLCV

6. Погосян В.М. Параметры кукурузной селекционной вальцовой молотилки: дисс. канд. техн. наук. Краснодар, 2019.

7. Погосян В.М., Мечкало А.Л., Полуэктов А.А. К вопросу зависимости прочности зерна кукурузы от его влажности // Тракторы и сельхозмашины. 2023. Т. 90, № 1. С. 59–66. doi: 10.17816/0321-4443-111809

## REFERENCES

1. Bakharev DN. Sovershenstvovanie tekhnologii posleuborochnoy obrabotki pochatkov semennoy kukuruzy na osnove tekhnicheskikh resheniy poetapnogo obmolota [dissertation] Michurinsk; 2022. (In Russ). EDN: AJYLGС
2. Kapustin AS, Kapustin SI, Aziz B, et al. Sortovaya tekhnologiya kukuruzy. Lugansk: Luganskiy natsionalnyy agrarnyy universitet; 2013. (In Russ).
3. Pastukhov AG, Bakharev DN. Molotilno-separiruyushchee ustroystvo dlya pervichnogo semenovodstva kukuruzy. *Selskokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2020;14(1):34–39. (In Russ). doi: 10.22314/2073-7599-2020-14-1-34-39
4. Kurasov VS. Mekhaniko-tekhnologicheskoe obosnovanie kompleksa tekhnicheskikh sredstv dlya seleksii, sortoispytaniya

i pervichnogo semenovodstva kukuruzy [dissertation] Krasnodar; 2003. (In Russ).

5. Pogosyan VM. Seleksionnaya kukuruznaya molotilka. *Traktory i selkhoz mashiny*. 2019. № 5. S. 16–20. (In Russ). doi: 10.31992/0321-4443-2019-5-16-20 EDN: NPLLCV

6. Pogosyan V.M. Parametry kukuruznoy seleksionnoy valtsovoy molotilki [dissertation] Krasnodar; 2019. (In Russ).

7. Pogosyan V.M., Mechkalo A.L., Poluektov A.A. K voprosu zavisimosti prochnosti zerna kukuruzy ot ego vlazhnosti. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2023;90(1):59–66. (In Russ). doi: 10.17816/0321-4443-111809

## ОБ АВТОРАХ

\* **Полуэктов Александр Александрович**, ассистент кафедры «Тракторы, автомобили и техническая механика»; адрес: Российская Федерация, 350044, Краснодар, ул. Калинина, д. 13; ORCID: 0000-0001-9082-7199; eLibrary SPIN: 5742-2553; e-mail: aleksandr.poluektov2000@yandex.ru

**Погосян Владимир Макичевич** доцент кафедры «Тракторы, автомобили и техническая механика»; ORCID: 0000-0001-6248-4029; eLibrary SPIN: 3963-1182; e-mail: pogosyn@gmail.com

## AUTHORS' INFO

\* **Alexander A. Poluektov**, Assistant at the Tractors, Automobiles and Technical Mechanics Department; address: 13 Kalinina street, 350044 Krasnodar, Russian Federation; ORCID: 0000-0001-9082-7199; eLibrary SPIN: 5742-2553; e-mail: aleksandr.poluektov2000@yandex.ru

**Vladimir M. Pogosyan**, Associate Professor of the Tractors, Automobiles and Technical Mechanics Department; ORCID: 0000-0001-6248-4029; eLibrary SPIN: 3963-1182; e-mail: pogosyn@gmail.com

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author