

## ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.532.2+631.331.072.3

DOI: 10.26897/2687-1149-2022-1-12-16

**МЕТОД КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВЫПОЛНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ЭНЕРГОРЕСУРСΟΣБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ УБОРКИ КОРНЕПЛОДОВ И КАРТОФЕЛЯ**

**ДОРОХОВ АЛЕКСЕЙ СЕМЕНОВИЧ**, чл.-кор. РАН, д-р техн. наук, главный научный сотрудник  
dorokhov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>; Researcher ID: H-4089-2018

**СИБИРЁВ АЛЕКСЕЙ ВИКТОРОВИЧ**, д-р техн. наук, старший научный сотрудник  
sibirev2011@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9442-2276>; ResearcherID: M-6230-2016

**АКСЕНОВ АЛЕКСАНДР ГЕННАДЬЕВИЧ**, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник  
1053vim@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9546-7695>; ResearcherID: V-5572-2017

**МОСЯКОВ МАКСИМ АЛЕКСАНДРОВИЧ**✉, канд. техн. наук, старший научный сотрудник  
Maks.Mosyakov@yandex.ru✉; <https://orcid.org/0000-0002-5151-7312>; ResearcherID: A-8482-2019

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5

**Аннотация.** Важнейшей проблемой при реализации любой технологии является уменьшение затрат труда, энергии и ресурсосбережение с одновременным повышением урожайности возделываемых культур и, как следствие, снижением себестоимости продукции. Установлено, что использование сберегающих технологий позволит снизить количество проходов агрегатов по полю, сохранить плодородие почвы, минимизировать загрязнение окружающей среды от продуктов сгорания топлива. В статье представлен метод комплексной оценки качества выполнения технологических операций энергоресурсосберегающей технологии уборки корнеплодов и картофеля в условиях повышенной влажности. Описываемый коэффициент энергоресурсосбережения учитывает прямые затраты энергии при возделывании продукции растениеводства, включающие в себя затраты энергии, полученной от сгорания жидкого топлива, энергии прямых затрат при производстве продукции растениеводства, энергии материально-технических ресурсов и энергии оборотных средств. Численные значения показателя комплексной оценки энергоресурсосбережения технологического процесса уборки корнеплодов и картофеля позволяют судить о качестве техногенного воздействия комплекса машин при уборке овощных культур. Применение предложенного метода позволяет адекватно оценить энергетическую эффективность производства продукции растениеводства с учетом энергии прямых и косвенных затрат.

**Ключевые слова:** машина для уборки, корнеплод, картофель, энергосбережение, комплексная оценка.

**Формат цитирования:** Дорохов А.С., Сибирев А.В., Аксенов А.Г., Мосяков М.А. Метод комплексной оценки качества выполнения технологических операций энергоресурсосберегающей технологии уборки корнеплодов и картофеля // Агроинженерия. 2022. Т. 24. № 1. С. 12-16. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-1-12-16>.

© Дорохов А.С., Сибирев А.В., Аксенов А.Г., Мосяков М.А., 2022



## ORIGINAL PAPER

**COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE TECHNOLOGICAL PERFORMANCE QUALITY OF ENERGY-AND-RESOURCE-SAVING TECHNOLOGY OF ROOT AND POTATO HARVESTING**

**ALEKSEI S. DOROKHOV**, RAS Corresponding Member, DSc (Eng), Professor  
dorokhov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>; Researcher ID: H-4089-2018

**ALEKSEI V. SIBIRYOV**, DSc (Eng), Senior Research Engineer  
sibirev2011@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9442-2276>; ResearcherID: M-6230-2016

**ALEKSANDR G. AKSENOV**, PhD (Eng), Lead Research Engineer  
1053vim@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9546-7695>; ResearcherID: V-5572-2017

**MAKSIM A. MOSYAKOV**✉, PhD (Eng), Senior Research Engineer  
Maks.Mosyakov@yandex.ru✉; <https://orcid.org/0000-0002-5151-7312>; ResearcherID: A-8482-2019

Federal Scientific Agroengineering Center VIM; Bld 5, 1<sup>st</sup> Institutskiy Proezd Str., Moscow, 109428, Russian Federation

**Abstract.** The most critical problem in implementing any technology is to reduce labor costs while ensuring energy and resource conservation and simultaneously increasing the yield of cultivated crops and, consequently, reducing the cost of production. It has been established that saving technologies will reduce the number of unit runs through the field, preserve soil

fertility, and minimize environmental pollution from fuel combustion products. The article presents a comprehensive assessment of the quality of technological operations of energy-resource-saving technologies for harvesting root crops and potatoes under high humidity conditions. The authors describe a coefficient of energy-resource saving that takes into account the direct costs of energy in the cultivation of crop products, including the costs of energy obtained from the liquid fuel combustion, direct costs of energy required for crop production, the energy of material and technical resources, and the energy of current assets. Numerical values of the comprehensive assessment indicator of energy-saving features of harvesting root crops and potatoes will describe the quality of technogenic impact of a set of machines used for harvesting vegetable crops. Application of the proposed method can help adequately estimate crop production's energy efficiency, taking into account the energy of direct and indirect costs.

**Key words:** harvesting machine, root crops, potatoes, energy saving, comprehensive assessment.

**For citation:** Dorokhov A.S., Sibiryov A.V., Aksenov A.G., Mosyakov M.A. Comprehensive assessment of the technological performance quality of energy-and-resource-saving technology of root and potato harvesting. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2022; 24(1): 12-16. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-1-12-16>.

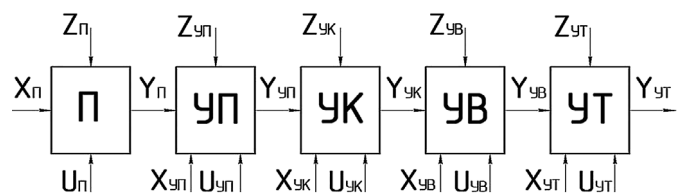
**Введение.** Наряду с разработкой новых машин и внедрением новейших технологий в сельскохозяйственное производство точное земледелие на основе глобальных навигационных спутниковых систем способствовало ускорению научно-технического прогресса в сельском хозяйстве. На международной выставке «Агротехника-2019» (г. Ганновер, Германия) было показано, что эффективность машин повышается благодаря более интенсивному использованию электронной техники и полимерных материалов в конструкциях машин, а также совмещению ряда технологических операций с максимально возможным использованием полезной мощности энергетических средств для привода сельскохозяйственных машин [1].

Несмотря на значительное количество научных исследований, посвященных проблеме энерго- и ресурсосбережения при возделывании и уборке сельскохозяйственных культур и разработке средств механизации<sup>1</sup> [2-4], обеспечивающих качественное выполнение технологических операций, остаются вопросы, которые до настоящего времени решены неполностью [5-9]. Кроме того, не все результаты известных теоретических и экспериментальных исследований могут быть непосредственно применены для интенсификации процесса уборки корнеплодов [9].

Машина для уборки корнеплодов и картофеля в зависимости от вида убираемой культуры состоит из следующих основных функционирующих элементов: подкапывающий рабочий орган (П); рабочий орган первичной сепарации (УП); рабочий орган, интенсифицирующий процесс сепарации убираемой продукции от крупных почвенных комков (УК) [2]; устройство вторичной сепарации корнеплодов и картофеля (УВ) от механических примесей; валкоукладывающее устройство или выгрузной транспортер (УТ) (рис.).

Анализ функциональной схемы машины для уборки корнеплодов и картофеля позволяет констатировать, что в условиях повышенной влажности почвы невозможно исключить захват подкапывающим рабочим органом совместно с корнеплодами почвенных примесей. Следовательно, необходимо интенсифицировать процесс очистки при влажности, превышающей оптимальные условия уборки [10]. Для этого необходимо провести

исследования комплексных систем управления технологическими процессами и качеством получаемой продукции на единых приемах системного анализа.



**Рис. Функциональная схема машины для уборки корнеплодов и картофеля:**

- П – подкапывающий рабочий орган;
- УП – рабочий орган первичной сепарации;
- УК – рабочий орган первичной сепарации с интенсификатором;
- УВ – рабочий орган вторичной сепарации;
- УТ – валкоукладывающее устройство или выгрузной транспортер;
- Хп, Хуп, Хук, Хув и Хут – функция внешнего воздействия на соответствующий функциональный элемент;
- Зп, Зуп, Зук, Зуб и Зут – функция состояния соответствующего функционального элемента;
- Уп, Ууп, Уук, Уув и Уут – функция управляющего воздействия на соответствующий функциональный элемент;
- Yп, Yуп, Yук, Yув и Yут – результирующие параметры соответствующего функционального элемента

**Fig. Functional diagram of the machine for harvesting root crops and potatoes:**

- П – digging functional element;
- УП – functional element of primary separation;
- УК – functional element of primary separation with an intensifier;
- УВ – functional element of secondary separation;
- УТ – swathing device or unloading conveyor;
- Хп, Хуп, Хук, Хув, Хут – functions of the external influence on the corresponding functional element;
- Зп, Зуп, Зук, Зуб, Зут – function of the state of the corresponding functional element;
- Уп, Ууп, Уук, Уув, Уут – functions of the control action of the corresponding functional element;
- Yп, Yуп, Yук, Yув и Yут – the resulting parameters of the corresponding functional element

Разработка новых технологических операций и способов их осуществления должна заключаться в решении комплекса взаимосвязанных между собой задач – таких, как выбор технологического процесса, порядок выполнения, исходное состояние поверхности поля перед посадкой,

<sup>1</sup> Хвостов В.А. Машины для уборки корнеплодов и лука (теория, конструкция, расчет) // В.А. Хвостов, Э.С. Рейнгарт. М., 1995. 391 с.

физико-механические свойства почвы и требования к качеству выполнения отдельных операций технологии, энерго- и ресурсозатраты [2].

**Цель исследования:** разработать метод комплексной оценки качества выполнения технологических операций энергоресурсосберегающей технологии уборки корнеплодов и картофеля.

**Материалы и методы.** Комплексный метод оценки уровня качества продукции осуществляется с использованием комплексных (обобщенных) показателей качества. Комплексная оценка не дает представления об отдельных свойствах продукции. Комплексные показатели можно получать при разном сочетании единичных показателей, поэтому они должны дополнять, а не заменять отдельные показатели качества.

Комплексный показатель ( $K_{\Sigma}$ ) характеризует совокупность множества взаимосвязанных свойств, образующих качество продукции, и выражается одним числом, что позволяет на практике сравнивать большое число показателей качества продукции с таким же количеством базовых показателей. Для разработки метода комплексной оценки качества выполнения технологических операций энергоресурсосберегающей технологии уборки корнеплодов и картофеля необходимо решить следующие задачи:

- определить показатели качества выполнения технологических операций энергоресурсосберегающей технологии уборки корнеплодов и картофеля в условиях повышенной влажности почвы;

- разработать коэффициент энергоресурсосбережения технологической операции уборки корнеплодов и картофеля в условиях повышенной влажности почвы.

**Результаты и обсуждение.** Для оценки показателей качества выполнения технологических операций энергоресурсосберегающей технологии уборки корнеплодов и картофеля в условиях повышенной влажности почвы предлагается ввести безразмерный показатель – коэффициент энергоресурсосбережения  $K_{\Sigma}$ , рассчитываемый как отношение коэффициента энергоресурсосбережения технологического процесса уборки ( $\Theta_{\Pi}$ ), полученного в результате выполнения теоретических расчетов, к коэффициенту энергоресурсосбережения допустимых значений исследуемого технологического процесса ( $\Theta_{\Delta}$ ):

$$K_{\Sigma} = \frac{\Theta_{\Pi}}{\Theta_{\Delta}}. \quad (1)$$

В связи с тем, что для повышения сепарирующей способности щелевых устройств для очистки корнеплодов применен обогрев сепарирующей поверхности горячим выхлопным газом энергетической установки уборочной машины, рассмотрим суммарную энергию  $\Theta_{\Gamma}$  от сгорания топлива, затраченную на технологическую операцию уборки картофеля и корнеплодов:

$$\Theta_{\Gamma} = N_{\Gamma} \cdot \alpha_{\Gamma}, \quad (2)$$

где  $N_{\Gamma}$  – количество израсходованного топлива, кг/га;  $\alpha_{\Gamma}$  – энергосодержание топлива, МДж/кг.

В связи с тем, что коэффициент энергоресурсосбережения теоретических значений исследуемого технологического процесса  $\Theta_{\Pi}$  определяется по зависимости, учитывающей прямые затраты энергии при возделывании

продукции растениеводства, включающие в себя затраты энергии, полученной от сгорания жидкого топлива  $\Theta_{\Gamma}$ , энергии прямых затрат при производстве продукции растениеводства  $\Theta_{\Pi}$ , а также энергии материально-технических ресурсов и энергии оборотных средств  $\Theta_{\text{КЗ}}$ , получаем:

$$\Theta_{\Pi} = \frac{\Theta_{\Gamma} + \Theta_{\Pi} + \Theta_{\text{КЗ}}}{100}. \quad (3)$$

Исходя из того, что теплота  $Q_{\Gamma}$  отработавших газов, превышающая количество теплоты  $Q_{\text{А}}$ , эквивалентной эффективной работе, направлена на выполнение полезной работы, а именно обдув сепарирующей поверхности для снижения влажности, поступающей на сепарацию почвы с 24 до 18%, то есть на 25%, затраты энергии, полученной от сгорания жидкого топлива  $\Theta_{\Gamma}$  в общей совокупности затрат, составят:

$$\Theta_{\Gamma\Gamma} = 0,25\Theta_{\Gamma}. \quad (4)$$

Выражение (3) с учетом выражения (4) запишется как

$$\Theta_{\Pi} = \frac{0,25\Theta_{\Gamma} + \Theta_{\Pi} + \Theta_{\text{КЗ}}}{100}. \quad (5)$$

Коэффициент энергоресурсосбережения допустимых значений технологического процесса машинной уборки корнеплодов и картофеля в условиях повышенной влажности почвы представлен как

$$\Theta_{\Delta} = 1. \quad (6)$$

Коэффициент энергоресурсосбережения эмпирических значений технологического процесса уборки корнеплодов и картофеля в условиях повышенной влажности почвы –

$$\Theta_{\Pi} = \sum_{i=1}^n W_i, \quad (7)$$

где  $W_i$  – вектор весов энергоресурсосбережения отдельной операции технологического процесса уборки корнеплодов и картофеля в условиях повышенной влажности почвы.

Каждому технологическому процессу машинного производства корнеплодов и картофеля соответствует вектор весов энергоресурсосбережения отдельной операции:

$$W_i = \sum_{j=1}^n w_{ij}, \quad (8)$$

где  $w_{ij}$  – весовое значение энергоресурсосбережения  $i$ -й операции технологического процесса уборки корнеплодов и картофеля в условиях повышенной влажности почвы;  $n$  – количество операций технологического процесса уборки корнеплодов и картофеля в условиях повышенной влажности почвы, шт.

Ввиду отсутствия информации об оценке уровня энергоресурсосбережения отдельной технологической операции введем допущение о том, что каждая  $i$ -я операция технологического процесса уборки корнеплодов и картофеля в условиях повышенной влажности почвы имеет пропорциональный вес, то есть

$$w_{ij} = \frac{1}{n}. \quad (9)$$

Весы входных сигналов используются для вычисления взвешенной суммы  $u_i$  входных сигналов:

$$\sum u_i = \sum_{j=1}^N w_{ij} x_j. \quad (10)$$

Таким образом, с учетом выражений (3)-(6) комплексный показатель  $K_{и}$  оценки энергоресурсосбережения технологического процесса уборки корнеплодов и картофеля запишется как

$$K_{и} = \frac{\sum_{n=1}^{i=1} w_{иn}}{\Theta_{д}}. \quad (11)$$

Из выражения 11 следует, что энергия, затрачиваемая на уборку корнеплодов и картофеля в условиях повышенной влажности почвы, зависит от энергии, полученной от сжигания жидкого топлива, энергии труда работников.

Численные значения разработанного показателя  $K_{и}$  комплексной оценки энергоресурсосбережения технологического процесса уборки корнеплодов и картофеля свидетельствуют о величине техногенного воздействия комплекса машин на уборке овощных культур, а именно:

-  $K_{и} = 1$ , показатель уровня оценки энергоресурсосбережения технологического процесса уборки корнеплодов и картофеля не выходит за рамки допуска, а оценочные

параметры по данному показателю имеют достаточный уровень «требовательности» к ее выполнению;

-  $K_{и} > 1$ , показатель уровня оценки энергоресурсосбережения технологического процесса уборки корнеплодов и картофеля, выходит за рамки допуска, то есть комплекс машин не обеспечивает достижения требуемого уровня качества уборки, и необходимы меры по устранению несоответствия;

-  $K_{и} < 1$ , показатель уровня оценки энергоресурсосбережения технологического процесса уборки корнеплодов и картофеля, выполняется с превышением заданного уровня качества выполнения, что может свидетельствовать о заниженных требованиях к данному показателю и необходимости корректировки полей допусков.

## Выводы

Применение метода комплексной оценки качества выполнения технологических операций энергоресурсосберегающей технологии уборки корнеплодов и картофеля в условиях повышенной влажности почвы позволяет адекватно оценить энергетическую эффективность производства продукции растениеводства с учетом энергии прямых и косвенных затрат.

## References

## Библиографический список

1. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Дорохов А.С., Сибирёв А.В., Крючков В.А., Сазонов Н.В. Современные технологии и техника для сельского хозяйства – тенденции выставки Agritechnika 2019 // Тракторы и сельхозмашины. 2020. № 6. С. 28-40. <https://doi.org/10.31992/0321-4443-2020-6-28-40>
2. Лобачевский Я.П. Машинная технология производства лука: Монография / Я.П. Лобачевский, П.А. Емельянов, А.Г. Аксенов, А.В. Сибирёв. Москва: ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2016. 168 с.
3. Алдошин Н.В. Моделирование качества выполнения механизированных работ // Сборник докладов I Международной научно-практической конференции «Горячкинские чтения». М.: ООО УМЦ «Триада», 2013. С. 6-13.
4. Mayer V., Vejchar D., Pastorková L. Measurement of potato tubers resistance against mechanical loading. *Research in Agricultural Engineering*, 2008; 54 (1): 22-31. <https://doi.org/10.17221/708-RAE>
5. Aniket U. Dongre, Rahul Battase, Sarthak Dudhale, Vipul R. Patil, Deepak Chavan. Development of potato harvesting model. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 2017; 4: 1567-1570.
6. Farhadi R., Sakenian N., Azizi P. Design and construction of rotary potato grader. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 2012; 8 (2): 304-314.
7. Lü J., Sun H., Dui H., Peng M., Yu J. Design and experiment on conveyor separation device of potato digger under heavy soil condition. *Nongye Jixie Xuebao. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*. 2017; 48 (11): 146-155. <https://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2017.11.018>
8. Lü J., Shang Q., Yang Y., Li Z.H., Li J.C., Liu Z.Y. Design optimization and experiment on potato haulm cutter. *Nongye Jixie Xuebao. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2016; 47 (5): 106-114. <https://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2016.05.015>

1. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Dorokhov A.S., Sibirov A.V., Kryuchkov V.A., Sazonov N.V. *Sovremennye tekhnologii i tekhnika dlya sel'skogo khozyaystva – tendentsii vystavki Agrotekhnika – 2019* [Modern technologies and equipment for agriculture as the main trends of the Agritechnika 2019 exposition]. *Traktory i sel'hoz mashiny*, 2020; 6: 28-40. <https://doi.org/10.31992/0321-4443-2020-6-28-40> (In Rus.)
2. Lobachevskiy Ya.P., Emel'yanov P.A., Aksenov A.G., Sibiryov A.V. *Mashinnaya tekhnologiya proizvodstva luka* [Machine technology of onion production]: Monograph. Moscow, FGBNU FNAC VIM, 2016. 168 p. (In Rus.)
3. Aldoshin N.V. *Modelirovanie kachestva vypolneniya mehanizirovannykh работ* [Modeling the quality of the performance of mechanized work]. In: *Goryachkinskie chteniya: Sb. dokladov 1-y Mezhdunarodnoy nauch.-prakt. konferentsii*, Moscow, LLC "UMTs "Triada", 2013: 6-13. (In Rus.)
4. Mayer V., Vejchar D., Pastorková L. Measurement of potato tubers resistance against mechanical loading. *Research in Agricultural Engineering*, 2017; 1: 22-31. <https://doi.org/10.17221/708-RAE>
5. Aniket U. Dongre, Rahul Battase, Sarthak Dudhale, Vipul R. Patil, Deepak Chavan. Development of Potato Harvesting Model. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 2017; 4: 1567-1570. Tamilnadu/India
6. Farhadi R., Sakenian N., Azizi P. Design and construction of rotary potato grader. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 2012; 8(2): 304-314.
7. Lü J.Q., Sun H., Dui H., Peng M.M., Yu J.Y. Design and experiment on conveyor separation device of potato digger under heavy soil condition, Nongye Jixie Xuebao. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2017; 48(11): 146-155. <https://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2017.11.018>
8. Lü J.Q., Shang Q.Q., Yang Y., Li Z.H., Li J.C., Liu Z.Y. Design optimization and experiment on potato haulm cutter, Nongye Jixie Xuebao. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2016; 47(5): 106-114. <https://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2016.05.015>
9. Sojka R.E., Horne D.J., Ross C.W., Baker C.J. Subsoiling and surface tillage effects on soil physical properties and forage oat

9. Sojka R.E., Horne D.J., Ross C.W., Baker C.J. Subsoiling and surface tillage effects on soil physical properties and forage oat stand and yield. *Soil and Tillage Research*, 1997; 40 (3-4): 25-144. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(96\)01075-6](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(96)01075-6)

10. Дорохов А.С., Аксенов А.Г., Сибирёв А.В., Мосяков М.А., Сазонов Н.В. Теоретические предпосылки повышения сепарирующей системы машины для уборки корнеплодов тепловой энергией системы отработавших газов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16, № 1 (61). С. 71-77. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2021-71-76>

#### Критерии авторства

Дорохов А.С., Сибирёв А.В., Аксенов А.Г., Мосяков М.А. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов провели обобщение и подготовили рукопись. Дорохов А.С., Сибирёв А.В., Аксенов А.Г., Мосяков М.А. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 25.06.2021

Одобрена после рецензирования 16.12.2021

Принята к публикации 17.01.2021

stand and yield. *Soil and Tillage Research*, 1997; 40 (3-4): 25-144. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(96\)01075-6](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(96)01075-6)

10. Dorokhov A.S., Aksenov A.G., Sibiriyov A.V., Mosyakov M.A., Sazonov N.V. Teoreticheskie predposylki povysheniya separiruyushhey sistemy mashiny dlya uborki korneplodov teplovoy energiyey sistemy otrabotavshikh gazov [Theoretical prerequisites for increasing the separating capacity of a machine for harvesting root crops with the thermal energy of the exhaust gas system]. *Vestnik Kazanskogo GAU*, 2021; 16(1): 71-77. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2021-71-76> (In Rus.)

#### Contribution

A.S. Dorokhov, A.V. Sibiriyov, A.G. Aksenov, M.A. Mosyakov performed theoretical studies, and based on the results obtained, generalized the results and wrote a manuscript. A.S. Dorokhov, A.V. Sibiriyov, A.G. Aksenov, M.A. Mosyakov have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

#### Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received 25.06.2021

Approved after reviewing 16.12.2021

Accepted for publication 17.01.2021