

Научная статья  
УДК 631.372:331  
ГРНТИ 68.85.87  
EDN BASANA

### Влияние энергозатрат живого труда на энергоэффективность использования машинно-тракторного агрегата

Елена Сергеевна Поликутина<sup>1</sup>, Сергей Васильевич Щитов<sup>2</sup>,  
Евгений Евгеньевич Кузнецов<sup>3</sup>, Зоя Федоровна Кривуца<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Благовещенский политехнический колледж, Амурская область, Благовещенск, Россия

<sup>2,3,4</sup> Дальневосточный государственный аграрный университет

Амурская область, Благовещенск, Россия

<sup>1</sup> [e.polikyutina@mail.ru](mailto:e.polikyutina@mail.ru), <sup>2</sup> [shitov.sv1955@mail.ru](mailto:shitov.sv1955@mail.ru),

<sup>3</sup> [ji.tor@mail.ru](mailto:ji.tor@mail.ru), <sup>4</sup> [zfk20091@mail.ru](mailto:zfk20091@mail.ru)

**Аннотация.** Одним из основных факторов, влияющих на эффективность работы сельскохозяйственных предприятий, занятых в технологии возделывания сельскохозяйственных культур, является наличие кадров. На протяжении последних лет наблюдается тенденция по сокращению численности населения в ряде регионов. В предложенной работе проведен анализ влияния энергетических затрат живого труда на полные энергетические затраты, связанные с производством сельскохозяйственной продукции. Учитывая, что основное направление деятельности Амурской области сельскохозяйственное, целесообразно проводить оценку энергозатрат живого труда с учетом как основного, так и вспомогательного персонала, участвующего в технологии возделывания сельскохозяйственных культур. На величину полных энергозатрат, связанных с производством сельскохозяйственной продукции, существенное влияние оказывают средства механизации и, в частности, машинно-тракторные агрегаты, которые используются в технологии производства. В последние годы в области происходит увеличение посевных площадей в основном за счет ранее заброшенных в труднодоступных местах и мелкоконтурных, небольших крестьянско-фермерских хозяйств. Поэтому очень важно правильно определить необходимые средства механизации, с учетом наличия рабочей силы, которые в конечном итоге будут оказывать влияние на результат – объем полученной продукции и ее себестоимость. Установлено, что на величину энергозатрат живого труда большое влияние оказывает величина производительности машинно-тракторных агрегатов за счет снижения величины буксования. Особенно это важно для энергетических средств с колесной формулой 4К2 для лучшей реализации тягово-сцепных свойств в результате применения специально установленных устройств. Проведенные исследования показали, что снижение энергозатрат живого труда в технологии возделывания сельскохозяйственных культур в условиях Амурской области возможно на основе повышения тягово-сцепных свойств энергетических средств путем рационального перераспределения сцепного веса внутри самого машинно-тракторного агрегата.

**Ключевые слова:** машинно-тракторный парк, энергетические средства, сельскохозяйственные машины, энергозатраты живого труда, производительность, эффективность

**Для цитирования:** Поликутина Е. С., Щитов С. В., Кузнецов Е. Е., Кривуца З. Ф. Влияние энергозатрат живого труда на энергоэффективность использования машинно-тракторного агрегата // Дальневосточный аграрный вестник. 2023. Том 17. № 4. С. 218–224.

Original article

### Impact of living labor energy consumption on energy efficiency of machine-and-tractor unit use

Elena S. Polikutina<sup>1</sup>, Sergei V. Shchitov<sup>2</sup>,  
Evgenii E. Kuznetsov<sup>3</sup>, Zoya F. Krivutsa<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Blagoveshchensk Polytechnic College, Amur region, Blagoveshchensk, Russia

<sup>2,3,4</sup> Far Eastern State Agrarian University, Amur region, Blagoveshchensk, Russia

<sup>1</sup> [e.polikytina@mail.ru](mailto:e.polikytina@mail.ru), <sup>2</sup> [shitov.sv1955@mail.ru](mailto:shitov.sv1955@mail.ru),

<sup>3</sup> [ji.tor@mail.ru](mailto:ji.tor@mail.ru), <sup>4</sup> [zfk20091@mail.ru](mailto:zfk20091@mail.ru)

**Abstract.** One of the main factors affecting the efficiency of agricultural enterprises engaged in crop cultivation technology is the availability of personnel. Over the past years, there has been a tendency to reduce the population in a number of regions. In the proposed work, an analysis of the impact of living labor energy costs on the total energy costs associated with the production of agricultural products was carried out. Considering that the main activity of Amur region is agricultural, it is advisable to assess the energy consumption of living labor, taking into account both the main and auxiliary personnel involved in the technology of cultivating agricultural crops. The amount of total energy consumption associated with the production of agricultural products is significantly influenced by means of mechanization and, in particular, machine-and-tractor units, which are used in the technology of its cultivation. In recent years, in the region there has been an increase in sown areas mainly due to previously abandoned in hard-to-reach places and small-contoured peasant farms. Therefore, it is very important to correctly determine the necessary means of mechanization, taking into account the presence of labor, which will ultimately affect the volume of products received and its cost. It was established that the value of productivity of machine-and-tractor units had a great influence on the value of energy consumption of live labor due to a decrease in the value of skidding. This is especially important for energy means with a wheel formula 4K2 for a better implementation of traction and adhesion properties due to the use of specially installed devices. The conducted studies have shown that reduction of energy consumption of human labor in the of agricultural crop cultivating technology in the conditions of Amur region is possible by increasing the traction and adhesion properties of energy means through the rational redistribution of the adhesion weight within the machine-and-tractor unit itself.

**Keywords:** machine and tractor fleet, energy resources, agricultural machinery, energy consumption of living labor, productivity, efficiency

**For citation:** Polikutina E. S., Shchitov S. V., Kuznetsov E. E., Krivutsa Z. F. Impact of living labor energy consumption on energy efficiency of machine-and-tractor unit use. *Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik*, 2023;17;4:218–224 (in Russ.).

**Введение.** В Амурской области в период 1990–2019 гг. произошел не только резкий отток населения, который составил от 1 050 до 793,2 тыс. человек, но и перераспределение численности между городом и селом. Так, на конец 2019 г. численность городского населения оказалась равной 535,6 тыс. человек, а сельского – 257,6 тыс. человек (рис. 1).

Это объясняется тем, что в данный период в связи с рыночными отношениями сельскохозяйственные предприятия начали массово закрываться из-за финансовых трудностей; при этом произошло резкое сокращение посевных площадей, и люди были вынуждены переселяться из села в город.

В последние годы отток населения продолжается. Так, с 2019 по 2023 гг. численность населения сократилась на 4,7 %, особенно сельских жителей, но при этом интенсивность оттока снизилась.

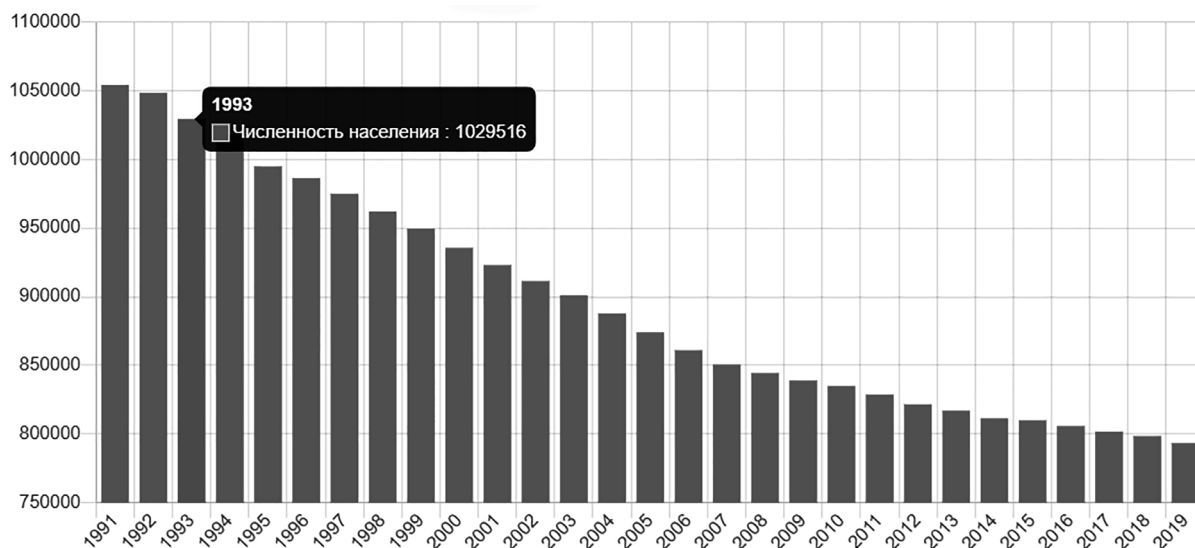
Основное направление деятельности Амурской области сельскохозяйственное.

В последние годы в области происходит увеличение посевных площадей преимущественно на основе ранее заброшенных в труднодоступных местах и мелко контурных, небольших крестьянско-фермерских хозяйств [1–5].

Поэтому очень важно правильно определить необходимые средства механизации, с учетом наличия рабочей силы, которые в конечном итоге будут оказывать влияние на результаты работы – объем полученной продукции и ее себестоимость. Представляет определенный интерес, как будут воздействовать энергозатраты живого труда на полные энергозатраты и от каких параметров они зависят.

В представленной статье, на основе анализа работ [1, 6–8], предлагается при подборе машинно-тракторных агрегатов, занятых в технологии возделывания сельскохозяйственных культур, учитывать энергозатраты живого труда.

**Материалы и методы исследований.** Одним из показателей, характере-



**Рисунок 1 – Динамика изменения численности населения Амурской области за период 1991–2019 гг.**

**Figure 1 – Dynamics of changes in the population of Amur region for the period 1991–2019**

ризующих эффективность производства сельскохозяйственной продукции, служат полные энергозатраты на ее производство. Это можно объяснить тем, что они позволяют более наглядно и независимо от колебаний рыночных цен оценить влияние отдельных составляющих на конечный результат. При этом всегда можно через энергозатраты определить затраты на производство сельскохозяйственной продукции в денежном эквиваленте (1):

$$Z_p = \frac{E_p}{E_3} \quad (1)$$

где  $E_p$  – полные энергозатраты, МДж;  
 $E_3$  – энергетический эквивалент, МДж на один руб.

В качестве энергетического эквивалента может быть взят любой энергоноситель (дизельное топливо, электроэнергия, бензин и т. д.). Зная энергетическое содержание этого энергоносителя и его стоимость на любой промежуток времени, можно проследить эффективность производства в денежном эквиваленте.

На величину полных энергетических затрат, связанных с производством сельскохозяйственной продукции, существенное влияние оказывают средства механизации, в частности машинно-тракторные

агрегаты, которые используются в технологии производства [1, 9]. Таким образом, для определения полных энергозатрат используем формулу (2):

$$E_{\text{пол}} = E_{\text{пр}} + E_{\text{ж}} + E_{\text{уд}} \quad (2)$$

где  $E_{\text{пр}}$  – прямые энергозатраты на производство сельскохозяйственной продукции, МДж;

$E_{\text{ж}}$  – затраты живого труда на производство сельскохозяйственной продукции, МДж;

$E_{\text{уд}}$  – удельные энергозатраты МТА на производство сельскохозяйственной продукции, МДж.

Рассмотрим влияние энергозатрат живого труда на полные энергозатраты, связанные с производством сельскохозяйственной продукции. Оценку энергозатрат живого труда необходимо проводить с учетом как основного, так и вспомогательного персонала, участвующего в технологии возделывания сельскохозяйственных культур [1, 9] (3):

$$E_{\text{ж}} = \frac{n_{\text{ч}} a_{\text{ж}} + n_{\text{ч}}' a_{\text{ж}}'}{W_{\text{см}}} \quad (3)$$

где  $n_{\text{ч}}$ ,  $n_{\text{ч}}'$  – численность основного (трактористы, комбайнеры и т. д.) и вспомогательного (сеяльщики, грузчики и т. д.)

персонала, участвующего в технологии возделывания культур, чел.;

$a_{ж}, a'_{ж}$  – соответственно энергетические эквиваленты затрат живого труда основного и вспомогательного персонала, задействованного в технологии возделывания культур, МДж/чел-ч.;

$W_{см}$  – производительность МТА, га/ч.

При этом необходимо учитывать следующий расход энергии с учетом грации труда [1, 10]:

- 1) очень легкая – 0,6 МДж/чел-ч;
- 2) легкая – 0,9 МДж/чел-ч;
- 3) средняя – 1,26 МДж/чел-ч;
- 4) тяжелая – 1,86 МДж/чел-ч;
- 5) очень тяжелая – 2,5 МДж/чел-ч.

В случае, если при выполнении сельскохозяйственной операции участвует только один человек (вспашка, дискование, боронование и т. д.), энергозатраты живого труда определяются по выражению (4):

$$E_{ж} = \frac{a_{ж} \cdot n_{ч}}{W_{см}} \quad (4)$$

Анализируя выражения (3) и (4), можно отметить, что на величину энергозатрат живого труда большое влияние оказывает величина производительности.

**Результаты исследований и их об-суждение.** Величина производительности, как показали исследования [5, 7], определяется мощностными показателями энергетического средства и его тягово-цепными свойствами.

В условиях Амурской области, для повышения эффективности использования колесных энергетических средств в технологии возделывания сельскохозяйственных культур, одним из способов является повышение сцепного веса, приходящегося на ведущие колеса, без использования дополнительных грузов, что способствует повышению производительности машинно-тракторных агрегатов на основе снижения величины буксования. Особенно это важно для энергетических средств с колесной формулой 4К2 для лучшей реализации тягово-цепных свойств в результате применения специально установленных устройств [10].

С учетом проведенных исследований и анализа выражений (3) и (4), нами получены формулы (5) и (6) для определения энергозатрат живого труда в зависимости от сцепного веса соответственно серийного трактора и трактора со специально установленным устройством:

$$E_{ж} = \frac{a_{ж} \cdot n_{ч}}{W_{см}} = a_{ж} \cdot \frac{n_{ч}}{0,36B_p \cdot V_{\tau}} \times \left( 1 - \frac{0,248 \frac{M_{вед}}{G_{сч} \cdot r_k}}{1 - 3,077 \left( \frac{M_{вед}}{G_{сч} \cdot r_k} \right)^3} \right) \cdot \tau \quad (5)$$

$$E_{ж} = \frac{a_{ж} \cdot n_{ч}}{W_{см}} = a_{ж} \cdot \frac{n_{ч}}{0,36B_p \cdot V_{\tau}} \times \left( 1 - \frac{0,248 \frac{M_{вед}}{(G_{сч} + N_{доп}) \cdot r_k}}{1 - 3,077 \left( \frac{M_{вед}}{(G_{сч} + N_{доп}) \cdot r_k} \right)^3} \right) \cdot \tau \quad (6)$$

где  $B_p$  – ширина захвата агрегата, м;  
 $M_{вед}$  – ведущий момент от двигателя, передающийся на колеса, Н/м;

$G_{сч}$  – сцепной вес энергетического средства, Н;

$N_{доп}$  – дополнительный вес, приходящийся на задние ведущие колеса от перераспределения, Н;

$V_{\tau}$  – теоретическая скорость движения, м/с;

$r_k$  – радиус колеса, м;

$\tau$  – коэффициент использования времени смены.

Как показал анализ приведенных формул, установка предлагаемого устройства позволяет:

- 1) уменьшить энергетических затрат живого труда;
- 2) повысить производительность машинно-тракторного агрегата;
- 3) увеличить сцепной вес;
- 4) снизить величину буксования.

Проведенные тяговые испытания колесного трактора класса 1,4 с установленным устройством [10], показали увеличение тяговой мощности на 12,6 % по сравнению с серийным вариантом при тяговом усилии 14,1 кН (табл. 1).

Увеличение тяговой мощности произошло за счет снижения мощности, затрачиваемой на буксование. Также снизилось техногенное воздействие на почву за счет уменьшения величины буксования.

**Таблица 1 – Результаты экспериментальных исследований по определению буксования и тяговой мощности****Table 1 – Results of experimental studies on determination of slipping and traction power**

Показатели	Тяговое усилие, кН					
	9,17		12,05		14,1	
	сер.	эксп.	сер.	эксп.	сер.	эксп.
Буксование, %	7,52	5,63	9,67	6,51	20,53	11,03
Тяговая мощность, кВт	19,99	21,0	25,43	26,51	26,79	30,17
Примечание: сер. – серийный; эксп. – экспериментальный.						

Увеличение тяговой мощности позволило в конечном итоге повысить производительность машинно-тракторного агрегата.

Проведенные сравнительные хозяйственные испытания на культивации машинно-тракторным агрегатом в составе трактора МТЗ-80 и культиватора КПС-4 показали увеличение производительности с 1,84 до 2,05 га/ч. При этом произошло снижение энергозатрат живого труда с 0,66 до 0,57 МДж/га.

Аналогичные результаты были получены и при использовании агрегата в составе New Holland 7 и катка ЗКВГ на прикатывании. Использование устройства

для перераспределения сцепного веса внутри машинно-тракторного агрегата снизило энергозатраты живого труда на 24,1 % по сравнению с серийным вариантом.

**Заключение.** В результате исследований установлено, что снижение энергозатрат живого труда в технологии возделывания сельскохозяйственных культур в условиях Амурской области возможно за счет повышения тягово-сцепных свойств энергетических средств. Повышение тягово-сцепных свойств на почвах с низкой несущей способностью можно достигнуть на основе рационального перераспределения сцепного веса внутри самого машинно-тракторного агрегата.

#### Список источников

1. Методика энергетического анализа технологических процессов в сельскохозяйственном производстве / под ред. А. Н. Никифорова. М. : Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства, 1995. 96 с.
2. Беляев В. И., Соколова Л. В. Перспективные агротехнологии производства зерна в Алтайском крае // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2018. № 4 (162). С. 5–12.
3. Раднаев Д. Н. Методологические основы разработки технологий и технических средств посева при возделывании зерновых культур в условиях Забайкалья : автореф. дис. ... докт. техн. наук. Улан-Удэ, 2013. 40 с.
4. Шишлов С. А., Шишлов А. Н. Теоретические предпосылки повышения эффективности предпосевной подготовки почвы и посева сои на основании оценки совокупных энергозатрат // Роль аграрной науки в развитии лесного и сельского хозяйства Дальнего Востока : материалы III нац. (всерос.) науч.-практ. конф. Уссурийск : Приморская государственная сельскохозяйственная академия, 2019. С. 153–160.
5. Бондаренко А. М., Качанова Л. С., Челбин С. М., Головкин А. Н. Концепция развития системы сохранения и воспроизводства плодородия почв сельскохозяйственных угодий Ростовской области как инструмент экономической безопасности региона // Экономика и предпринимательство. 2021. № 10 (135). С. 366–371. DOI: 10.34925/EIP.2021.135.10.069.
6. Щитов С. В., Кузнецов Е. Е. Повышение эффективности использования мобильных энергетических средств в технологии возделывания сельскохозяйственных культур : моно-

графия. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2017. 272 с.

7. Алдошин Н. В., Мосяков М. А. Обеспеченность технологий обработки почвы интеллектуальными средствами и методами контроля // Доклады Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2020. Вып. 292. С. 396–400.

8. Щитов С. В., Спириданчук Н. В., Поликутина Е. С. Влияние энергозатрат на выбор энергетического средства // Научное обозрение. 2014. № 8. С. 535–538. EDN: TBTYQZ.

9. Щитов С. В., Кривуца З. Ф., Кузнецов Е. Е., Поликутина Е. С. Практическое применение методов оптимизации энергетических затрат при использовании средств механизации в АПК : учебное пособие. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2022. 79 с.

10. Патент № 2613390 Российская Федерация. Пружинно-рычажный корректор сцепного веса колесного трактора : № 2015140368 : заявл. 22.09.2015 : опубл. 16.03.2017 / Щитов С. В., Кузнецов Е. Е., Поликутина Е. С. Бюл. № 8. 10 с.

### References

1. Nikiforov A. N. (Eds.). *Methodology for energy analysis of technological processes in agricultural production*, Moscow, Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut mekhanizacii sel'skogo hozyajstva, 1995, 96 p. (in Russ.).

2. Belyaev V. I., Sokolova L. V. Prospective agricultural technologies of grain production in the Altai region. *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2018;4(162): 5–12 (in Russ.).

3. Radnaev D. N. Methodological basis for the development of technologies and technical means of sowing for the cultivation of grain crops in the conditions of Transbaikal. *Extended abstract of candidate's thesis*. Ulan-Ude, 2013, 40 p. (in Russ.).

4. Shishlov S. A., Shishlov A. N. Theoretical prerequisites for increasing of the efficiency of pre-sowing soil preparation and sowing soybeans based on an assessment of total energy consumption. Proceedings from The role of agricultural science in the development of forestry and agriculture in the Far East: *III Nacional'naya (vserossijskaya) nauchno-prakticheskaya konferenciya*. (PP. 153–160), Ussurijsk, Primorskaya gosudarstvennaya sel'skohozjajstvennaya akademiya, 2019. (in Russ.).

5. Bondarenko A. M., Kachanova L. S., Chelbin S. M., Golovko A. N. The concept of development of a system for preserving and reproducing soil fertility in agricultural lands of the Rostov region as a tool for the economic security of the region. *Ekonomika i predprinimatel'stvo*, 2021;10(135):366–371 (in Russ.). DOI: 10.34925/EIP.2021.135.10.069.

6. Shchitov S. V., Kuznetsov E. E. *Increase of the efficiency of using mobile energy resources in crop cultivation technology: monograph*, Blagoveshhensk, Dal'nevostochnyj gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2017, 272 p. (in Russ.).

7. Aldoshin N. V., Mosyakov M. A. Provision of soil treatment technologies with intelligent means and control methods. *Doklady Timiryazevskoj sel'skohozyajstvennoj akademii*, 2020; 292:396–400 (in Russ.).

8. Shchitov S. V., Spiridanchuk N. V., Polikutina E. S. The influence of energy consumption on the choice of energy product. *Nauchnoe obozrenie*, 2014;8:535–538 (in Russ.). EDN: TBTYQZ.

9. Shchitov S. V., Krivutsa Z. F., Kuznetsov E. E., Polikutina E. S. *Practical application of methods for optimizing energy costs when using mechanization tools in the agro-industrial complex: textbook*, Blagoveshhensk, Dal'nevostochnyj gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2022, 79 p. (in Russ.).

10. Shchitov S. V., Kuznetsov E. E., Polikutina E. S. Spring-lever corrector of the adhesion weight of a wheeled tractor. *Patent RF, no 2613390 yandex.ru/patents* 2017 Retrieved from [https://yandex.ru/patents/doc/RU2613390C1\\_20170316](https://yandex.ru/patents/doc/RU2613390C1_20170316) (Accessed 14 September 2022) (in Russ.).

© Поликутина Е. С., Щитов С. В., Кузнецов Е. Е., Кривуца З. Ф., 2023

Статья поступила в редакцию 06.11.2023; одобрена после рецензирования 30.11.2023; принята к публикации 07.12.2023.

The article was submitted 06.11.2023; approved after reviewing 30.11.2023; accepted for publication 07.12.2023.

### **Информация об авторах**

**Поликутина Елена Сергеевна**, кандидат технических наук, преподаватель специальных дисциплин, Благовещенский политехнический колледж; [e.polikytina@mail.ru](mailto:e.polikytina@mail.ru);

**Щитов Сергей Васильевич**, доктор технических наук, профессор, Дальневосточный государственный аграрный университет, [shitov.sv1955@mail.ru](mailto:shitov.sv1955@mail.ru);

**Кузнецов Евгений Евгеньевич**, доктор технических наук, доцент, Дальневосточный государственный аграрный университет, [ji.tor@mail.ru](mailto:ji.tor@mail.ru);

**Кривуца Зоя Федоровна**, доктор технических наук, доцент, Дальневосточный государственный аграрный университет, [zfk2009@rambler.ru](mailto:zfk2009@rambler.ru)

### **Information about the authors**

**Elena S. Polikutina**, Candidate of Technical Sciences, Lecturer of Special Disciplines, Blagoveshchensk Polytechnic College, [e.polikytina@mail.ru](mailto:e.polikytina@mail.ru);

**Sergei V. Shchitov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Far Eastern State Agrarian University, [shitov.sv1955@mail.ru](mailto:shitov.sv1955@mail.ru);

**Evgenii E. Kuznetsov**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Far Eastern State Agrarian University, [ji.tor@mail.ru](mailto:ji.tor@mail.ru);

**Zoya F. Krivutsa**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Far Eastern State Agrarian University, [zfk20091@rambler.ru](mailto:zfk20091@rambler.ru)

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

**Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.**

**The authors declare no conflicts of interests.**