УДК 631.354
DOI: 10.35887/2305-2538-2021-5-35-41

О РАСХОДЕ ТОПЛИВА ЗЕРНОУБОРОЧНЫМ КОМБАЙНОМ

[1]Ерохин Геннадий Николаевич
[1]Коновский Валерий Викторович
[1]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. *Разработана модель оценки удельного расхода топлива зерноуборочным комбайном на уборке зерновых культур. В качестве входных данных модель оперирует показателями условий сельхозпредприятия и показателями технической характеристики комбайна. Модель рассматривает расход топлива комбайном в различных периодах эксплуатационного времени работы двигателя. Новизной модели является применение показателя, характеризующего уровень использования производительности комбайна. Данный показатель представляет собой отношение фактической производительности к потенциально-возможной по пропускной способности зерноуборочного комбайна. С помощью модели проведены исследования влияния уровня использования производительности на расход топлива зерноуборочным комбайном Полесье КЗС-1218. Получено, что при изменении уровня производительности от 0,5 до 1,1 удельный расход снижается с 6,13 л/т до 3,79 л/т, то есть расход топлива уменьшается в 1,6 раза. Получена оценка влияния на расход топлива неуправляемых факторов: урожайности и соломистости убираемой зерновой культуры. Наблюдается рост расхода топлива в 1,5 раза при увеличении соломистости зерновых культур с 1,0 до 2,0. С увеличением урожайности с 20 ц/га до 60 ц/га удельный расход топлива уменьшается 4,11 л/т до 3,91 л/т. Это составляет уменьшение расхода на 4.9 % в исследуемом диапазоне урожайности. Как фактор, урожайность влияет на расход топлива незначительно. Результаты исследований объясняют широкий разброс удельного расхода топлива зерноуборочными комбайнами в условиях реальной эксплуатации. Полученная модель позволяет прогнозировать расход топлива зерноуборочным комбайном в условиях сельхозпредприятия и повышать его топливную экономичность.*

Ключевые слова: *зерноуборочный комбайн,расход топлива, моделирование, производительность, урожайность.*

ABOUT FUEL CONSUMPTION FOR COMBINE HARVESTERS

[1]Erokhin Gennady
[1]Konovskiy Valery
[1]FSBSI“All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”

Abstract. *A model for estimating the specific fuel consumption of a combine harvester for harvesting grain crops has been developed. As input data, the model operates with indicators of the conditions of the agricultural enterprise and indicators of the technical characteristics of the combine. The model considers the fuel consumption of the combine harvester in different periods of the operational time of the engine. The novelty of the model is the use of an indicator that characterizes the level of use of the productivity of the combine. This indicator is the ratio of the actual productivity to the potentially possible throughput capacity of a combine harvester. Using the model, the influence of the level of productivity utilization on fuel consumption by the Polesie KZS-1218 combine harvester was studied. It is found that when the performance level changes from 0.5 to 1.1, the specific consumption decreases from 6.13 l/t to 3.79 l/t, that is, fuel consumption decreases by 1.6 times. An assessment of the influence of uncontrolled factors on fuel consumption was obtained: the yield and strawiness of the harvested grain crop. There is an increase in fuel consumption by 1.5 times with an increase in the straw content of grain crops from 1.0 to 2.0. With an increase in yield from 20 c / ha to 60 c / ha, the specific fuel consumption decreases 4.11 l / t to 3.91 l/t. This is a 4.9% reduction in consumption in the studied yield range. As a factor, productivity affects fuel consumption slightly. The results of the research explain the wide*

variation in the specific fuel consumption of combine harvesters in real operation. The resulting model allows you to predict the fuel consumption of a combine harvester in the conditions of an agricultural enterprise and increase its fuel efficiency.

Keywords: *combine harvester, fuel consumption, modeling, productivity, yield.*

Введение. Анализируя эффективность использования зерноуборочного комбайна, потребитель обязательно рассматривает расход дизельного топлива в его конкретных условиях[1,2]. В качестве показателя часто применяют удельный расход топлива. Под этой величиной понимают количество топлива в литрах, требующееся для уборки одной тонны зерна. Этот показатель зависит от марки используемых комбайнов и конкретных условий их применения в реальной эксплуатации.

Наблюдения за работой зерноуборочных комбайнов в условиях реальной эксплуатации показывают существенный разброс данного показателя, который может отличаться в разы даже для одномарочных комбайнов при работе в близких условиях. Как показали итоги уборки зерновых культур по расходу топлива в 2020 году в Тамбовском регионе, для различных комбайнов марки Полесье КЗС-1218 этот показатель находился в диапазоне 3,1 л/т - 7,2 л/т. Сельхозпроизводителю важно знать: почему так происходит и какие факторы наиболее значимо влияют на потребление топлива при работе зерноуборочных комбайнов. В исследованиях [3] предложена модель, которая позволяет прогнозировать расход топлива зерноуборочным комбайном в различных условиях уборки. В настоящей работе выдвинута гипотеза о существенном влиянии на расход топлива уровня использования производительности зерноуборочного комбайна[4,5]. Данный показатель представляет собой отношение фактической производительности к потенциально-возможной, исходя из паспортной пропускной способности зерноуборочного комбайна. В реальных условиях эксплуатации уровень производительности варьирует от 0,5 до 1,1. Разработать модель и оценить влияние данного показателя на топливную экономичность зерноуборочного комбайна – такова цель предлагаемого исследования.

Материалы и методы. Исследование проводилось математическим моделированием расхода топлива комбайном в зависимости от выбранных входных факторов. Основные фрагменты математической модели представлены ниже.

Расход топлива зерноуборочным комбайном происходит во временные интервалы работы двигателя. К ним относятся следующие элементы эксплуатационного времени, при которых происходят [6]: основная работа комбайна по выполнению технологического процесса скашивания и обмолота зерновых культур; переезды до мест ночных стоянок и с одного поля на другое; технологические развороты в конце гона; переезды комбайна к месту выгрузки зерна и обратно в загонку; разгрузка зерновой массы из бункера комбайна в транспортное средство. Удельный расход топлива при уборке зерновых культур комбайном характеризуется уравнением [3]:

$$g_T = g_1 + g_{21} + g_{22} + g_{23} + g_6 , \quad (1)$$

где g_T - удельный расход топлива зерноуборочным комбайном, л/т; g_1, g_{21}, g_{22}, g_{23}, g_6 - удельный расход топлива соответственно при выполнении основной работы, поворотов в конце гона, переездов комбайна к месту выгрузки зерна; выгрузки зерна из бункера в транспортное средство, холостых переездов, л/т.

Следует отметить, что разработанная в [3] на основе выражения (1) математическая модель справедлива для ситуации, когда комбайн работает с фактической производительностью равной потенциально возможной по пропускной способности. В реальной эксплуатации комбайн показывает фактическую производительность, которая определяется формулой:

$$W_{1Ф} = W_1 \cdot Y_{ПР} , \quad (2)$$

где $W_{1Ф}$ - фактическая производительность комбайна по основному времени, т/ч; W_1 - потенциальная производительность комбайна по основному времени исходя из его паспортной пропускной способности, т/ч; $Y_{ПР}$ - уровень использования производительности зерноуборочного комбайна.

Для определения производительности комбайна по основному времени W_1 используем следующее выражение [7]:

$$W_1 = \frac{3{,}6 \cdot G_П \cdot K_{УСЛ}}{1+\varepsilon}, \text{т/ч} \quad (3)$$

где $G_П$ - паспортная пропускная способность комбайна, кг/с; $K_{УСЛ}$ - коэффициент условий уборки по влажности, засоренности и полеглости; ε - отношение незерновой части скошенной массы к массе зерна.

Для определения паспортной пропускной способности различных марок комбайнов использовали информацию, полученную в результате полевых испытаний комбайна. При отсутствии таких данных пропускная способность моделировалась по уравнениям [7]. В работе [8] подробно изложена процедура определения коэффициента условий уборки $K_{УСЛ}$.

При эксплуатации комбайна уровень использования производительности регулируется рабочей скоростью комбайна и определяется по формуле:

$$Y_{ПР} = \frac{V_{ФР}}{V_P}, \quad (4)$$

где $V_{ФР}$ - фактическая рабочая скорость комбайна, км/ч; V_P - рекомендованная рабочая скорость комбайна по его пропускной способности, км/ч;

Наиболее энергоемкий и продолжительный период, в течение которого расходуется дизельное топливо приходится на основную работу комбайна. Во время основной работы большая часть мощности двигателя комбайна расходуется на скашивание и обмолот зерновой массы, меньшая - на передвижение комбайна по полю, измельчение и разброс соломы. Влияние фактической производительности комбайна на удельный расход топлива при выполнении основной работы авторами предложено описать формулой:

$$g_1 = \frac{q_{M1} \cdot N_Д \cdot K_{M1}}{10^3 \cdot W_{1Ф} \cdot u_T}, \text{ л/т} \quad (5)$$

где q_{M1} - удельный расход топлива двигателем при коэффициенте использования мощности K_{M1}, г/л.с.×ч; K_{M1} - коэффициент использования мощности двигателя при выполнении комбайном основной работы; $N_Д$ - паспортная мощность двигателя, л.с.; u_T - удельный вес топлива (солярки), кг/л.

Коэффициент использования мощности двигателя на основной работе зависит от уровня использования производительности. С уменьшением уровня использования производительности снижается и коэффициент использования мощности, так как снижается мощность на обмолот зерновой культуры. При моделировании предлагается оценивать это снижение уравнением:

$$K_{M1} = 0{,}5 \cdot Y_{ПР} + 0{,}4 \quad (6)$$

Удельный расход топлива двигателем зависит от оборотов двигателя и мощности на его валу. В работе [9]:проведены исследования влияния указанных факторов на удельный расход топлива дизельного двигателя. С учетом этих исследований удельный расход топлива двигателем на основной предлагается определять по формуле:

$$q_{Ф1} = q_H \cdot \left(0{,}8714 \cdot K_{M1}^2 - 1{,}7471 \cdot K_{M1} + 1{,}8757\right), \text{г/л.с.×ч;} \quad (7)$$

где q_H - паспортный удельный расход топлива двигателем при номинальных оборотах и мощности, г/л.с.×ч;

Моделирование удельного расхода топлива двигателем при выполнении поворотов в конце загонки, переезде комбайна к месту выгрузки зерна и обратно, выгрузки зерна из бункера в транспортное средство и на холостых переездов подробно описано в работе [3].

В итоге, разработана модель для более детального исследования расхода дизельного топлива зерноуборочным комбайном в процессе его использования по назначению.

Результаты и обсуждение. С помощью разработанной модели были проведены исследования влияния уровня использования производительности на расход топлива зерноуборочным комбайном Полесье КЗС-1218, который массово применяется на полях Центрально-Черноземного региона (ЦЧР). Комбайн стоит дешевле аналогов и отличается высокими эксплуатационными показателями Полесье КЗС-1218 имеет классическое молотильное устройство барабанного типа. Отличительной особенностью молотилки комбайна является наличие барабана ускорителя и молотильного барабана увеличенного диаметра (800 мм). Пропускная способность комбайна составляет 12 кг/с. Мощный двигатель позволяет уверенно работать при высокой урожайности практически всех зерновых культур. Высокую производительность и качество выполнения технологического процесса в оригинальной системе обмолота обеспечивают барабан-ускоритель и высокая площадью очистки. Для создания комфортных условий работы комбайнера кабина комбайна оснащена высокообзорным панорамным стеклом, кондиционером, эргономичным сиденьем и регулируемой рулевой колонкой. Бортовой компьютер контролирует основные параметры работы двигателя, основных узлов комбайна и технологических регулировок комбайна. В конструкции предусмотрена укладка соломы в валок или измельчение с разбрасыванием по полю.

Для моделирования удельного расхода топлива при уборке зерновых культур напрямую с измельчением и разбрасыванием соломы по полю были взяты технические показатели комбайна Полесье КЗС-1218.Учитывались также средние показатели условий уборки сельхозпредприятия в Центральном Черноземье (таблица).

Таблица – Исходные данные для моделирования по комбайну Полесье КЗС-1218

Двигатель	ЯМЗ-238ДЕ-22
Паспортная пропускная способность комбайна, кг/с	12
Удельный расход топлива двигателем при номинальных оборотах и мощности, г/л.с.×ч	165
Рабочая ширина захвата комбайна, м	6,6
Средняя длина гона, м	1200
Объем зернового бункера комбайна, $м^3$	8
Скорость выгрузки зерна из бункера, л/с	70
Отношение незерновой части к массе зерна	1,3
Влажность соломистой массы / засоренность хлебостоя / полеглость, %	14 / 5/ 4
Удельный вес топлива (солярки), кг/л	0,86
Удельный вес зерна, $т/м^3$	0,75
Среднее время, затрачиваемое комбайном на поворот в конце гона, с	50
Средняя урожайность, т/га / средняя площадь поля у потребителя, га	3,7 / 200
Среднее время, затрачиваемое на переезд комбайна к месту выгрузки зерна и обратно, с	120
Среднее расстояние переезда от места стоянки (ночного хранения) к месту работы / среднее расстояние переезда с поля на поле, км	10 / 5
Среднее основное время работы комбайна в течение суток, ч	8,5
Транспортная скорость комбайна, км/ч	15

В результате компьютерного моделирования получена зависимость удельного расхода топлива зерноуборочным комбайном Полесье КЗС-1218 от уровня использования его производительности (рисунок 1).

Как показывает рисунок 1, удельный расход топлива комбайном Полесье КЗС-1218 значимо снижается с повышением уровня использования производительности. В рассматриваемой области изменения уровня производительности (0,5…1,1) удельный расход снижается с 6,13 л/т до 3,79 л/т, то есть расход топлива уменьшается практически в 1,61 раза. Крутизна выявленного снижения уменьшается с ростом уровня производительности. В диапазоне уровня производительности

0,5…0,6 снижение расхода топлива составляет 11,9 %, а в диапазоне 0,9…1,0 уменьшается до 5,3%.

Фактический уровень производительности является управляемым фактором. Он зависит от выбранной механизатором рабочей скорости комбайна и ее соответствия потенциально возможной для данных условий. На практике часть комбайнов работает с пониженной скоростью и, как следствие, с пониженным уровнем производительности. Это является причиной повышенного расхода топлива и объяснением большого разброса удельного расхода топлива комбайнами одной марки в одинаковых условиях использования. Таким образом, контроль и поддержание уровня производительности комбайна около единицы является важным элементом снижения расхода топлива при уборке зерновых культур.

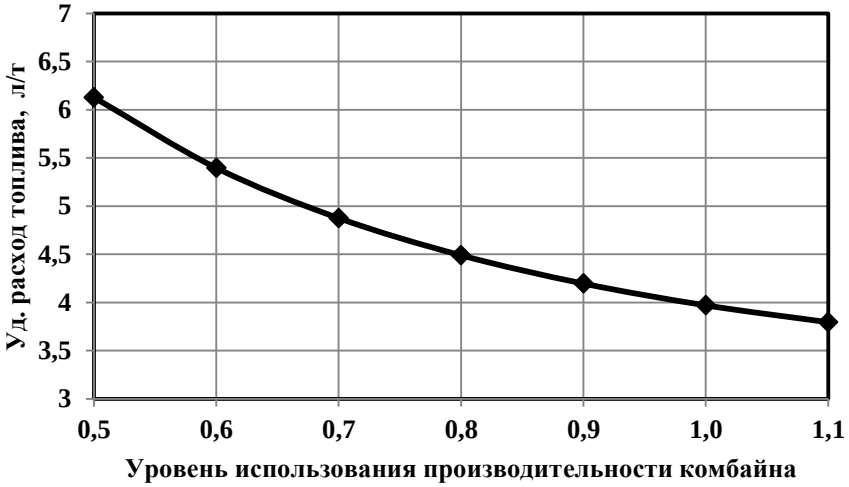

Рисунок 1 – Зависимость удельного расхода топлива комбайном Полесье КЗС-1218 от уровня использования его производительности

Рассмотрим влияние на расход топлива неуправляемых факторов: урожайности и соломистости убираемой зерновой культуры. Эти факторы определяются условиями уборки зерновых культур в сельскохозяйственном предприятии. На рисунке 2 представлена зависимость удельного расхода топлива в зависимости от соломистости убираемых зерновых культур.

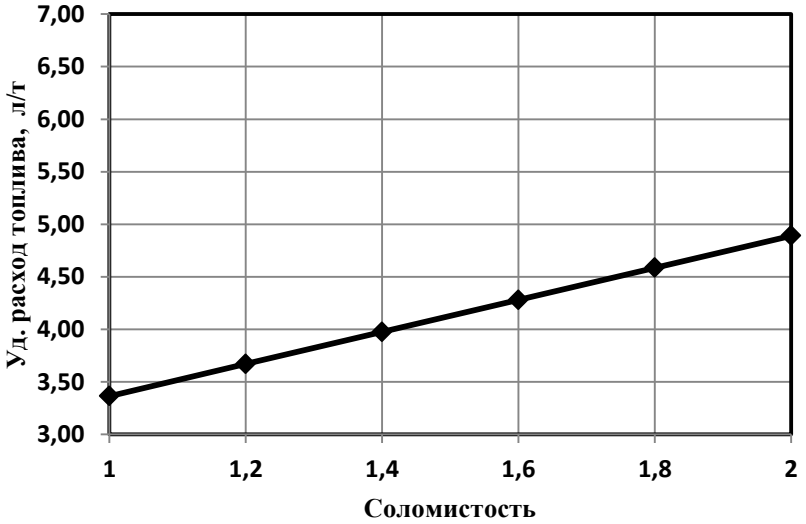

Рисунок 2 – Зависимость удельного расхода топлива комбайном Полесье КЗС-1218от соломистости зерновой культуры

В проведенных исследованиях соломистость измеряется отношением незерновой части скошенной массы к массе зерна. Полученная зависимость показывает крутое линейное увеличение расхода топлива с возрастанием соломистости. Для рассматриваемого комбайна Полесье КЗС-1218 при соломистости равной 1,0 расход топлива составляет 3,36 л/т, а при соломистости 2,0 расход топлива - 4.89 л/т. Таким образом, имеем увеличение расхода топлива почти в 1,5 раза. Рост расхода топлива с возрастанием соломистости имеет физическое объяснение: при намолоте одинаковой массы зерна комбайну при высокой соломистости приходится обмолачивать больше скошенной зерносоломистой массы.

Зависимость удельного расхода топлива комбайном Полесье КЗС-1218 от урожайности зерновой культуры показана на рисунке 3. С увеличением урожайности с 20 ц/га до 60 ц/га удельный расход топлива уменьшается от 4,11 л/т до 3,91л/т. Это составляет уменьшение расхода на 4.9 % в исследуемом диапазоне урожайности. Как следует из результатов, приведенных на рисунке 3, расход топлива незначительно зависит от урожайности.

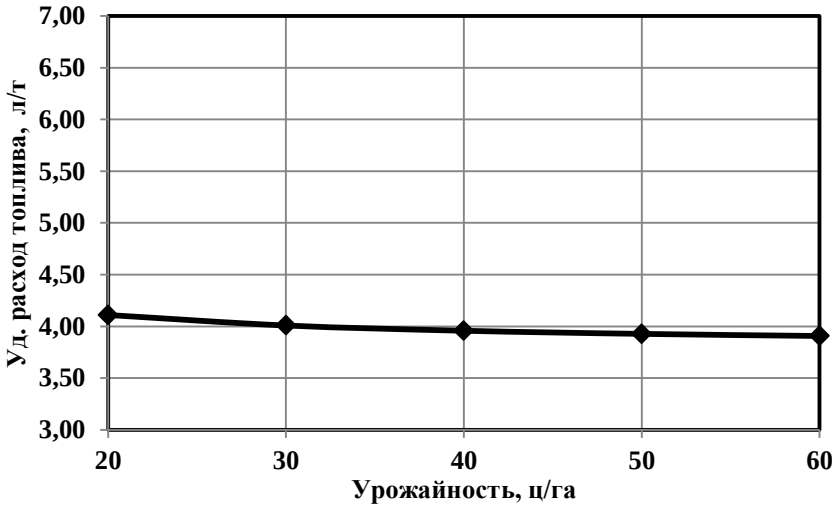

Рисунок 3 – Зависимость удельного расхода топлива комбайном Полесье КЗС-1218 от урожайности зерновой культуры

Выводы. Получена модель оценки удельного расхода топлива зерноуборочным комбайном с учетом фактического уровня использования производительности. Модель апробирована на примере комбайна Полесье КЗС-1218. Выявлено, что снижение уровня использования производительности зерноуборочного комбайна ведет к существенному увеличению удельного расхода топлива. Получена оценка влияния на расход топлива неуправляемых факторов: урожайности и соломистости убираемой зерновой культуры. Результаты исследований позволяют прогнозировать расход топлива зерноуборочным комбайном в условиях сельхозпредприятия и повышать его топливную экономичность.

Список литературы

1. Жалнин Э.В. Оптимизация машиноиспользования – мощный резерв повышения эффективности сельскохозяйственного производства // Наука в Центральной России. – 2013. – №1. – С.5-17.

2. Эффективная работа зерноуборочных комбайнов в условиях МТС и сельскохозяйственных предприятий / В.И.Драгайцев, Г.Н.Ерохин, В.Н.Кузьмин, И.Г. Голубев // Техника и оборудование для села. – 2001. – № 5. – С. 26-29.

3. Ерохин Г.Н., Коновский В.В. Моделирование расхода топлива зерноуборочных комбайнов // Наука в центральной России. –2016. –№ 3 (21). – С. 24-31.

4. Жалнин Э.В. О гармоничности конструкции зерноуборочных комбайнов // Техника в сельском хозяйстве. – 2011. – №1. – С.17-21.

5. Ерохин Г.Н., Коновский В.В. Оценка уровня использования зерноуборочных комбайнов в сельхозпредприятии // Наука в центральной России. – 2015. - №3. – С.5-10.

6. ГОСТ Р 52778-2007 Испытания сельскохозяйственной техники. Методы эксплуатационно-технологической оценки. – М.: «Стандартинформ», 2008. – 24с.

7. Жалнин Э.В. Расчет основных параметров зерноуборочных комбайнов. – М.: ВИМ, 2011. – 102 с.

8. Ерохин, Г.Н., Коновский В.В., Тишанинов Н.П. Использование зерноуборочных комбайнов за пределами регламентированного срока службы. – М.: РАСХН, 2005. – 63 с.

9. Многопараметровая топливная характеристика дизеля Cummins/ К.И.Городецкий, В.С.Гольнев, Е.П.Ершов и др. // Тракторы и сельхозмашины. – 2012. – №2. – С.44-47.

References

1. ZHalnin E.V. Optimizaciya mashinoispol'zovaniya – moshchnyj rezerv povysheniya effektivnosti sel'skohozyajstvennogo proizvodstva // Nauka v Central'noj Rossii. – 2013. – №1. – S.5-17.

2. Effektivnaya rabota zernouborochnyh kombajnov v usloviyah MTS i sel'skohozyajstvennyh predpriyatij / V.I.Dragajcev, G.N.Erohin, V.N.Kuz'min, I.G. Golubev // Tekhnika i oborudovanie dlya sela. – 2001. – № 5. – S. 26-29.

3. Erohin G.N., Konovskij V.V. Modelirovanie raskhoda topliva zernouborochnyh kombajnov // Nauka v central'noj Rossii. –2016. –№ 3 (21). – S. 24-31.

4. ZHalnin E.V. O garmonichnosti konstrukcii zernouborochnyh kombajnov // Tekhnika v sel'skom hozyajstve. – 2011. – №1. – S.17-21.

5. Erohin G.N., Konovskij V.V. Ocenka urovnya ispol'zovaniya zernouborochnyh kombajnov v sel'hozpredpriyatii // Nauka v central'noj Rossii. – 2015. - №3. – S.5-10.

6. GOST R 52778-2007 Ispytaniya sel'skohozyajstvennoj tekhniki. Metody ekspluatacionno-tekhnologicheskoj ocenki. – M.: «Standartinform», 2008. – 24s.

7. ZHalnin E.V. Raschet osnovnyh parametrov zernouborochnyh kombajnov. – M.: VIM, 2011. – 102 s.

8. Erohin, G.N., Konovskij V.V., Tishaninov N.P. Ispol'zovanie zernouborochnyh kombajnov za predelami reglamentirovannogo sroka sluzhby. – M.: RASKHN, 2005. – 63 s.

9. Mnogoparametrovaya toplivnaya harakteristika dizelya Cummins/ K.I.Gorodeckij, V.S.Gol'nev, E.P.Ershov i dr. // Traktory i sel'hozmashiny. – 2012. – №2. – S.44-47.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Ерохин Геннадий Николаевич – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г.Тамбов, e-mail: witin4@rambler.ru.

Коновский Валерий Викторович – научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г.Тамбов, e-mail: witin4@rambler.ru.

Author credentials

Affiliations

Erokhin Gennady – Candidate of Technical Sciences, LeadingResearcher of FederalState Budgetary Scientific Institution «All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture», Russia, Tambov, e-mail: witin4@rambler.ru.

Konovskiy Valery - Senior Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution «All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture», Russia, Tambov, e-mail: witin4@rambler.ru.

Поступила в редакцию (Received): 06.09.2021 Принята к публикации (Accepted): 18.10.2021