

8. Sistema upravleniia dvigateliами VAZ-21114 (1,6 l 8 kl.) i VAZ-21124 (1,6 l 16 kl.) s raspredelennym vpryskom topliva pod normy toksichnosti EVRO-3 avtomobilei VAZ-11183, 21101, 21104. Rukovodstvo po diagnostike i remontu. ОАО «Avtovaz», 2004. 209 s.
9. Khenderson B. OBD-II i Elektronnye sistemy upravleniia dvigatelem. Rukovodstvo po obsluzhivaniyu, diagnostike i remontu sistem upravleniia dvigatelem / B. Khenderson, Dzhon Eich Kheines. – Alfamer Publishing, 2011. – 248 s.
10. Alahmer, Ali. (2018). Performance and Emission Assessments for Different Acetone Gasoline Blends Powered of Spark Ignition Engine. *International Journal of Vehicle Structures and Systems*. DOI: 10.10.4273/ijvss.10.2.10.
11. Shang H., Zhang L., Chen B., Chen X. (2020). Experimental test and thermodynamic analysis on scaling-down limitations of a reciprocating internal combustion engine. *Science Progress*. 103 (3). DOI:10.1177/0036850420935731.



УДК 631.41

DOI: 10.53083/1996-4277-2025-251-9-78-84

**Е.С. Поликутина, С.В. Щитов, З.Ф. Кривуца,
А.А. Kovshun, В.А. Щитова**
**E.S. Polikutina, S.V. Shchitov, Z.F. Krivutsa,
A.A. Kovshun, V.A. Shchitova**

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ НА ТЯГОВО-СЦЕПНЫЕ КАЧЕСТВА ТРАКТОРА ПРИ РАБОТЕ С ПРИЦЕПНЫМИ ОДНООСНЫМИ МАШИНАМИ

INFLUENCE OF DESIGN AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF MACHINE-TRACTOR UNITS ON THE TRACTION AND COUPLING QUALITIES OF A TRACTOR WHEN WORKING WITH SINGLE-AXLE TRAILED MACHINES

Ключевые слова: нагрузка, энергетическое средство, опорные поверхности, сцепной вес, ведущие двигатели.

Как показали ранее проведенные исследования, на тягово-сцепные возможности энергетического средства, выполняющего роль тягача, оказывает влияние сцепной вес, приходящийся на ведущие опорные поверхности. Особенно это важно для тех энергетических средств, у которых не все опорные поверхности являются ведущими, иными словами, тракторы, имеющие колёсную формулу 4К2. Частично данный вопрос при движении по горизонтальной поверхности возможно решить, используя устройство, позволяющее перераспределять часть веса с передних неведущих опорных поверхностей на задние. Но при движении по поверхности, имеющей угол наклона к горизонту, это приводит к снижению продольной устойчивости и управляемости энергетического средства. Одним из факторов, влияющих на продольную устойчивость, оказывают прицепные

одноосные сельскохозяйственные агрегаты, которые воздействуют на прицепное устройство энергетического средства путём передачи частичной нагрузки. При этом данная нагрузка может иметь переменный характер в случае, когда масса самого прицепного агрегата изменяется по мере выполнения им возложенной на него функции. Решить данную проблему возможно за счёт использования промежуточной тележки, которая может регулировать перераспределение нагрузки на прицепное устройство энергетического средства (трактора). В связи с этим были проведены исследования по выявлению и обоснованию факторов, влияющих на сцепные качества трактора при работе с прицепными одноосными машинами. С целью определения влияния ряда конструктивно-технологических параметров на нагрузку, приходящуюся на задние ведущие двигатели трактора с колёсной формулой 4К2, применялась методика планирования эксперимента. Проведенные экспериментальные и теоретические исследования позволили выявить влияние конструктивно-техноло-

гических параметров на сцепной вес энергетического средства и прицепной одноосной машины для повышения тягово-сцепных свойств и продольную устойчивость энергетического средства.

Keywords: load, power units, bearing surfaces, coupling weight, driving propellers.

As the previous studies have shown, the coupling weight of the driving support surfaces affects the towing and coupling capabilities of the power units acting as a tractor. This is especially important for those energy facilities in which not all support surfaces are leading, in other words, tractors with a wheel formula of 4K2. In part, this issue when moving along a horizontal surface can be solved using a device that allows redistributing part of the weight from the front non-driving support surfaces to the rear. But when moving on a surface having an angle of inclination to the horizon, this leads to a decrease in the longitudinal stability and controllability of the power units. One of the factors affecting longitudinal

stability is traileed uniaxial agricultural units which act on the traileed device of the power units by transmitting a partial load. In this case, this load can be variable in the case when the mass of the traileed unit itself changes as it performs its function. It is possible to solve this problem through the use of an intermediate trolley which may regulate the redistribution of the load on the traileed device of the power unit (tractor). In this regard, studies were conducted to identify and substantiate the factors affecting the coupling qualities of the tractor when working with traileed uniaxial machines. The studies were carried out using the screening experiment method in order to determine the effect of a number of structural and technological parameters on the load on the rear driving propellers of a tractor with a wheel formula of 4K2. The experimental and theoretical studies made it possible to identify the effect of structural and technological parameters on the coupling weight of the power unit and the traileed uniaxial machine to increase the traction and coupling properties and the longitudinal stability of the power unit.

Поликутина Елена Сергеевна, к.т.н., ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, г. Благовещенск, Российская Федерация, e-mail: e.polikytina@mail.ru.

Щитов Сергей Васильевич, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, г. Благовещенск, Российская Федерация, e-mail: shitov.sv1955@mail.ru.

Кривуца Зоя Фёдоровна, д.т.н., доцент, зав. кафедрой, ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, г. Благовещенск, Российская Федерация, e-mail: zfk20091@mail.ru.

Ковшун Алексей Алексеевич, аспирант, ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, г. Благовещенск, Российская Федерация, e-mail: ikovshun1@mail.ru.

Щитова Виктория Андреевна, студент, ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, г. Благовещенск, Российская Федерация, e-mail: vikasitova814@gmail.com.

Polikutina Elena Sergeevna, Cand. Tech. Sci., Far Eastern State Agricultural University, Blagoveshchensk, Russian Federation, e-mail: e.polikytina@mail.ru.

Shchitov Sergey Vasilevich, Dr. Tech. Sci., Prof., Far Eastern State Agricultural University, Blagoveshchensk, Russian Federation, e-mail: shitov.sv1955@mail.ru.

Krivutsa Zoya Fedorovna, Dr. Tech. Sci., Assoc. Prof., Far Eastern State Agricultural University, Blagoveshchensk, Russian Federation, e-mail: zfk20091@mail.ru.

Kovshun Aleksey Alekseevich, post-graduate student, Far Eastern State Agricultural University, Blagoveshchensk, Russian Federation, e-mail: ikovshun1@mail.ru.

Shchitova Viktoriya Andreevna, student, Far Eastern State Agricultural University, Blagoveshchensk, Russian Federation, e-mail: vikasitova814@gmail.com.

Введение

Тягово-сцепные возможности любого энергетического средства характеризуются тремя основными параметрами – коэффициентом сцепления, сопротивлением перекатыванию и величиной буксования. При этом в качестве обобщающего показателя принято принимать КПД движителя [1, 2].

При работе машинно-тракторных агрегатов, состоящих из энергетического средства и прицепной одноосной машины, тягово-сцепные возможности во многом определяются весом, приходящимся на ведущие двигатели. Возделывание сельскохозяйственных культур преду-

сматривает определённое количество чередующихся полевых операций (работ), направленных на получение конечного результата (урожая). При этом необходимо учитывать и тот фактор, что выполнение той или иной сельскохозяйственной операции не всегда возможно с использованием традиционных энергетических средств, применяемых в данной технологии. Необходимо помнить и о влиянии региональных особенностей, оказывающих влияние на несущее основание, по которому движется энергетическое средство в агрегате совместно с сельскохозяйственной машиной. При использовании в качестве энергетического средства не полно-

приводных колёсных тракторов с колёсной формулой 4К2, у которых ведущими являются задние движители, основным критерием, влияющим на тягово-цепные возможности, оказывает нагрузка (цепной вес) приходящаяся на них [3, 4]. Решение вопроса по улучшению тягово-цепных возможностей таких энергетических средств (рис. 1) направлено на повышение сцепного веса, в частности можно выделить три основных направления:

- использование дополнительных грузов (балластирование);

- использование различных догружателей, способных частично использовать вес агрегатируемых машин;
- перераспределения нагрузки на опорные основания внутри машинно-тракторного агрегата:
 - между движителями трактора (энергетического средства);
 - между агрегатируемой машиной и трактором (энергетическим средством).

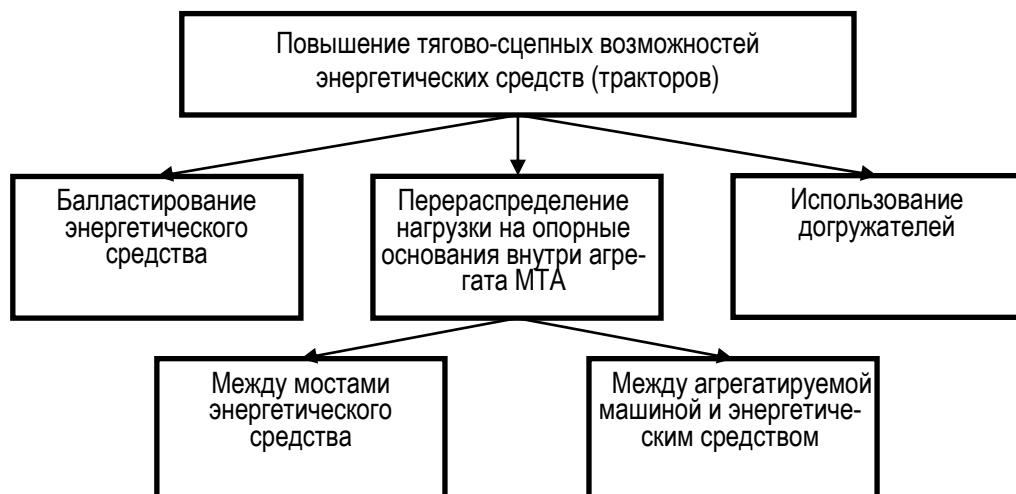


Рис. 1. Повышение тягово-цепных возможностей энергетических средств (тракторов)

В то же время увеличение сцепного веса на задние колёсные движители влияет на продольную устойчивость энергетического средства, особенно при движении по поверхности, имеющей уклон. Кроме этого у машинно-тракторных агрегатов при работе с прицепными одноосными машинами с меняющимся весом имеется ещё одно негативное последствие – изменение продольной устойчивости по мере изменения центра масс прицепного орудия (машина для внесения удобрения).

На основании вышесказанного **целью** исследования является повышение тягово-цепных свойств и продольной устойчивости колесного энергетического средства при работе с прицепной одноосной машиной.

Для выполнения поставленной цели были поставлены следующие **задачи**:

- разработать математическую модель машинно-тракторного агрегата при работе с прицепной одноосной машиной;
- дать количественную оценку влияния конструктивно-технологических параметров на тягово-цепные свойства колёсного энергетического средства при работе с прицепной одноосной машиной.

Объекты и методы исследования

Для решения данной проблемы было найдено техническое решение, подробно описанное в работе [5, 6]. Общий принцип работы данного технического решения заключается в том, что по мере смещения центра масс прицепного одноосного агрегата или при движении на склоновой поверхности возможно перемещать передвижное сцепное устройство для соединения промежуточной тележки с прицепным одноосным аг-

регатом. Это позволяет изменять нагрузку на задние ведущие движители и тем самым изменять:

- тягово-цепные возможности энергетического средства (трактора);
- продольную устойчивость энергетического средства (трактора).

С целью проверки влияния на силовое воздействие энергетического средства (трактора) различных конструктивно-технологических параметров были проведены исследования. В связи с этим на основе экспериментальных исследований и проверки факторов на значимость по методике отсеивающего эксперимента в качестве независимых факторов определены основные параметры, оказывающие влияние на критерии оптимизации исследуемого процесса и уровни их изменения. В качестве входных факторов приняты:

$G_{\text{па}}$ – вес прицепного агрегата с грузом (x_1), кН;

l – расстояние от оси задних ведущих колес энергетического средства (трактора) до устройства для соединения энергетического средства с промежуточной тележкой (x_2), м;

c – расстояние от оси прицепного одноосного агрегата до точки соединения энергетического средства (трактора) с промежуточной тележкой (x_3), м.

Выходным фактором (Y) является нагрузка, приходящаяся на задние ведущие движители ($G_{\text{сц}}$), Н.

В связи с тем, что на основании поисковых исследований установлен нелинейный характер влияния факторов на функцию отклика, выделяем три уровня их варьирования (табл.).

В результате реализации ортогонального центрально-композиционного плана второго порядка и оценки значимости коэффициентов получена математическая модель, адекватно опи-

$$G_{\text{сц}} = 24,63 + 0,002G_{\text{па}}^2 - 0,995l - 5,9c + 0,375l^2 + 0,75c^2. \quad (4)$$

С целью исследования результирующей функции отклика проводились ее сечения каждым из трех факторов на нулевом уровне ($G_{\text{па}}=27$ кН, $l=1,4$ м и $c=0,61$ м) согласно плану эксперимента (табл.).

Результаты исследований представлены на рисунках 2-4.

зывающая влияние конструктивно-технологических параметров на сцепной вес энергетического средства.

Таблица
Исследуемые факторы и их уровни

Факторы	x_1	x_2	x_3
Верхний уровень (+1)	40	1,8	2,8
Основной уровень (0)	27	1,4	2,6
Нижний уровень (-1)	14	1	2,4

Уравнение связи имеет вид:

$$Y(X_1, X_2, X_3) = b'_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 + b_{123}X_1X_2X_3 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{33}X_3^2. \quad (1)$$

Разработка математической модели, адекватно описывающей влияние конструктивно-технологических параметров на сцепной вес энергетического средства и позволяющей, в конечном результате, осуществлять его управление, осуществлялась использованием регрессионных закономерностей, получаемых в ходе проведения эксперимента. В соответствии с методикой для нахождения коэффициентов полинома и определения их значимости по критерию Стьюдента использовался ортогональный центрально-композиционный план второго порядка:

$$G_{\text{сц}} = 32,68 + 0,42X_3 - 0,625X_2X_3 + 0,002X_1^2 + 0,06X_2^2 + 0,06X_3^2. \quad (2)$$

Величина коэффициента детерминации R^2 при принятом 5%-ном уровне значимости составляет 0,91.

В раскодированном виде уравнение регрессии (2) принимает вид:

Проведение ряда математических преобразований позволяет значительно упростить предлагаемое уравнение (3):

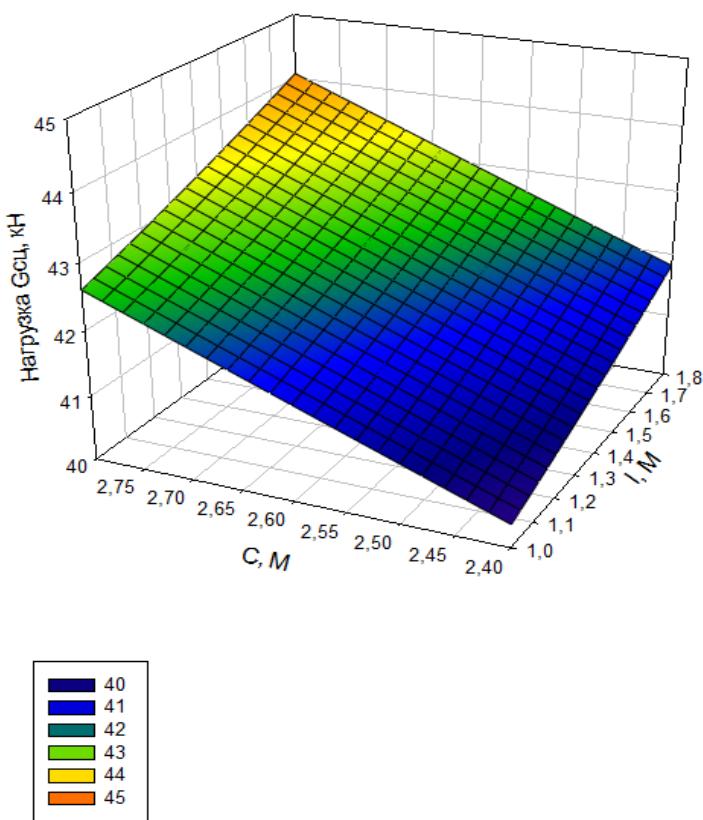


Рис. 2. Зависимость нагрузки $G_{\text{сц}}$ от расстояния оси задних ведущих колес энергетического средства I и расстояния от оси прицепного одноосного агрегата с (при зафиксированном на нулевом уровне весе прицепного агрегата с грузом $G_{\text{па}} = 27 \text{ кН}$)

Анализ рисунка 2 позволяет прогнозировать совместное влияние расстояния от оси задних ведущих колес энергетического средства (трактора) до устройства для соединения энергетического средства с промежуточной тележкой и расстояния от оси прицепного одноосного агрегата до точки соединения энергетического средства (трактора) с промежуточной тележкой на силовое воздействие, приходящееся на задние ведущие движители при неизменном весе прицепного агрегата с грузом.

Установлено, что наибольшее влияние в повышении нагрузки оказывает увеличение расстояния от оси прицепного одноосного агрегата до точки соединения энергетического средства с промежуточной тележкой, что на 5% выше по сравнению с расстоянием от оси задних ведущих колес энергетического средства до устройства для соединения энергетического средства с промежуточной тележкой. При этом повысить сцепной вес на задние колёсные движители на

10,75% позволяет одновременное увеличение параметров в исследуемых диапазонах.

В рамках проведенного исследования установлено, что увеличение веса прицепного агрегата с грузом позволяет значительно повысить нагрузку, приходящуюся на задние ведущие движители с 40 до 43,6 кН, на 9% по сравнению с изменением в рассматриваемом диапазоне расстояния от оси задних ведущих колес трактора до устройства для соединения энергетического средства с промежуточной тележкой с 40 до 41,5 кН на 4%. Проведение параллельных опытов позволяет увеличить сцепной вес на задние колёсные движители на 11,25%.

Наибольшее повышение силового воздействия (на задние колёсные движители достигается за счет одновременного увеличения в исследуемых диапазонах расстояния от оси прицепного одноосного агрегата и веса прицепного агрегата с грузом на 12,5% (рис. 4). При этом наибольший вклад вносит изменение груза, перевозимого трактором.

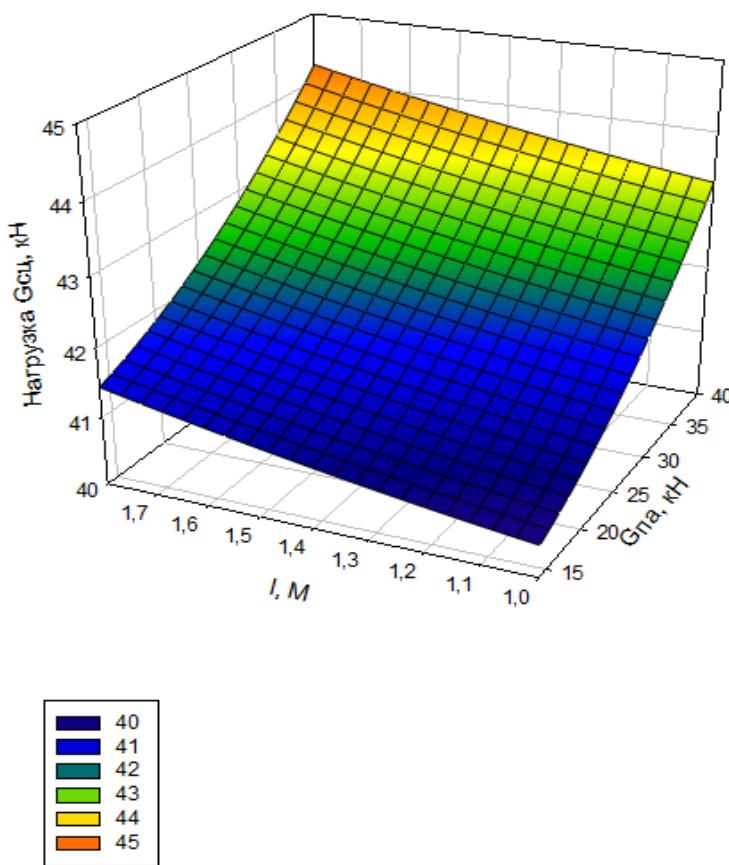


Рис. 3. Зависимость нагрузки G_{cz} от веса прицепного агрегата с грузом G_{na} и расстояния от оси задних ведущих колес энергетического средства l (при зафиксированном на нулевом уровне расстоянии от оси прицепного одноосного агрегата до точки соединения энергетического средства $c=2,6$ м)

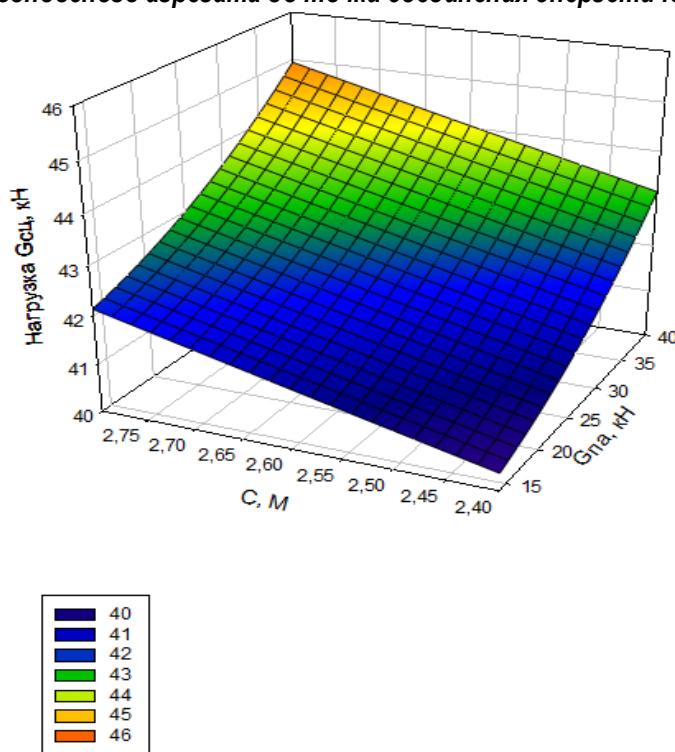


Рис. 4. Зависимость нагрузки G_{cz} от веса прицепного агрегата с грузом G_{na} и расстояния от оси прицепного одноосного агрегата c (при зафиксированном на нулевом уровне расстоянии от оси задних ведущих колес энергетического средства до устройства $l=1,4$ м)

Выводы

На тягово-сцепные свойства колёсных энергетических средств при выполнении работ с прицепными одноосными машинами большое влияние оказывают конструктивно-технологические параметры МТА. На основании проведенных исследований были получены следующие результаты:

- разработана математическая модель машинно-тракторного агрегата при работе с прицепной одноосной машиной;
- определены основные параметры, оказывающие влияние на критерии оптимизации исследуемого процесса и уровня их изменения:
- увеличение веса перевозимого груза на 8,3% позволяет повысить сцепной вес энергетического средства на 9%;
- за счет одновременного увеличения в исследуемых диапазонах расстояния от оси прицепного одноосного агрегата и веса прицепного агрегата с грузом возможно повысить сцепной вес энергетического средства на 12,5%.

Библиографический список

1. Беляев В. И. Перспективные агротехнологии производства зерна в Алтайском крае / В. И. Беляев, Л. В. Соколова. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2018. – № 4 (162). – С. 5-12.
2. Гуськов В. В. Тракторы / В. В. Гуськов. – Минск: Высшая школа, 1977. – 384 с. – Текст: непосредственный.
3. Повышение производительности прицепных агрегатов почвообрабатывающих машин / Е. С. Поликутина, С. В. Щитов, З. Ф. Кривуца [и др.]. – Текст: непосредственный // Вестник Курганской ГСХА. – 2024. – № 3(51). – С. 71-77.
4. Поликутина, Е. С. Улучшение тяговых показателей колёсных энергетических средств при работе с прицепными агрегатами / Е. С. Поликутина, С. В. Щитов, З. Ф. Кривуца. – Текст: непосредственный // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2024. – № 5 (109). – С. 144-148.
5. Пути перераспределения силовых нагрузок на опорные поверхности машинно-

тракторного агрегата / С. В. Щитов, Е. С. Поликутина, З. Ф. Кривуца, [и др.]. – DOI 10.53083/1996-4277-2025-247-5-70-74. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2025. – № 5 (247). – С. 70-74.

6. Патент на полезную модель № 230744 Российская Федерация МКИ В 62/D 63/08. Догружающе-распределяющее устройство для агрегатирования одноосных прицепных агрегатов / Щитов С. В., Кривуца З. Ф. [и др.]. – заявка № 224126669 от 11.09.2024. – Текст: непосредственный.

References

1. Beliaev V.I. Perspektivnye agrotehnologii proizvodstva zerna v Altaiskom krae / V.I. Beliaev, L.V. Sokolova // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018. No. 4 (162). S. 5-12.
2. Guskov V. V. Traktory. Minsk: Vysshiaia shkola, 1977. 384 s.
3. Povyshenie proizvoditelnosti pritsepnymkh agregatov pochvoobrabatyvayushchikh mashin / E.S. Polikutina, S.V. Shchitov, Z.F. Krivutsa, P.N. Shkolnikov, D.V. Ermakov // Vestnik Kurganskoi GSKhA. 2024. No. 3 (51). S. 71-77.
4. Polikutina E.S., Shchitov S.V., Krivutsa Z.F. Uluchshenie tiagovykh pokazatelei kolesnykh energeticheskikh sredstv pri rabote s pritsepnymi agregatami // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2024. No. 5 (109). S. 144-148.
5. Puti pereraspredelenii silovykh nagruzok na opornye poverhnosti mashinno-traktornogo agregata / S.V. Shchitov, E.S. Polikutina, Z.F. Krivutsa, A. A. Kovshun, V. A. Shchitova // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2025. No. 5 (247). S. 70-74. DOI: 10.53083/1996-4277-2025-247-5-70-74.
6. Patent na poleznuiu model No. 230744 Rossiiskaia Federatsiia MKI V 62/D 63/08. Dogruzhaiushche-raspredeliaushee ustroistvo dlia agre-gatirovaniia odnoosnykh pritsepnymkh agregatov / S.V. Shchitov, Z.F. Krivutsa i dr. // zaivka No. 224126669 ot 11.09.2024.