

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

УДК 631.41

DOI: 10.53083/1996-4277-2025-247-5-70-74

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

ПУТИ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛОВЫХ НАГРУЗОК НА ОПОРНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА

WAYS OF REDISTRIBUTION OF POWER LOADS ON SUPPORTING SURFACES OF MACHINE-TRACTOR UNIT

Ключевые слова: ходовая система, энергетическое средство, техногенное воздействие, почва, нагрузка, средства механизации.

Снижение энергозатрат при использовании средств механизации для проведения работ по возделыванию сельскохозяйственных культур в настоящее время является приоритетным направлением сельхозтоваропроизводителей всех форм собственности. Это объясняется тем, что данное направление напрямую влияет на формирование себестоимости получаемого продукта, следовательно, на его конкурентоспособность. В то же время основным направлением снижения энергозатрат при возделывании сельскохозяйственных культур является использование многооперационных средств механизации, позволяющих выполнять сразу несколько операций. Это в свою очередь, как следствие, повышает общую массу используемых средств механизации, ходовая система которых негативно сказывается на состоянии физико-механических свойств почвы. Особенно это относится к одноосным прицепным средствам механизации используемых в технологии возделывания сельскохозяйственных культур. При работе таких машин по мере выполнения операции происходит изменение их центра тяжести за счёт изменения общей массы, что влияет на распределение силовых нагрузок в опорных основаниях используемого машинно-тракторного агрегата, в частности сцепного веса энергетического средства. В связи с этим возникает необходимость разработки устройства, позволяющего устраниить обозначенную выше проблему. Проведённые исследования позволили получить теоретическую зависимость влияния предлагаемого устройства на перераспределение силовой нагрузки на опорные основания энергетиче-

ского средства и одноосной прицепной машины, которая используется для определения силовой нагрузки почвы на задние (передающие крутящий момент) колёса энергетического средства при отсутствии подкатной тележки; учитывать силовую нагрузку на задние (передающие крутящий момент) колёса энергетического средства, созданную им самим, силовую нагрузку, передаваемую на задние (передающие крутящий момент) колёса энергетического средства от подкатной тележки, а также влияние общего веса прицепного агрегата, положение его центра тяжести, положение передвижной опоры, габаритный размер подкатной тележки.

Keywords: undercarriage, powertrain, technogenic impact, soil, load, means of mechanization.

Reducing energy costs when using mechanization tools for crop growing is currently a priority for agricultural producers of all forms of ownership. This directly affects the formation of the cost of the resulting product, and, therefore, its competitive ability. At the same time, the main direction of reducing energy costs when growing crops is the use of multi-operation mechanization tools that allow performing several operations at once. This, in turn, as a result, increases the total amount of mechanization tools used, which undercarriages negatively affect the state of the physical and mechanical soil properties. This is especially true for single-axle trailed mechanization implements used in crop growing technology. During the operation of such machines, as the operation is performed, their center of gravity changes due to a change in the total mass, and this affects the distribution of power loads in the supporting bases of the machine and tractor unit used, and in particular the coupling weight of the

powertrain. In this regard, it becomes necessary to develop a device that solves the above problem. The studies made it possible to obtain a theoretical dependence of the influence of the proposed device on the redistribution of the power load on the supporting bases of the powertrain and a single-axle trailed machine which allows using it to determine the power load of the soil on the rear (transmitting torque) wheels of the powertrain in the absence of a

trailed bogie taking into account the power load on the rear (transmitting torque) wheels of the powertrain created by itself, take into account the power load transmitted to the rear (transmitting torque) wheels of the powertrain from the trailed bogie, take into account the effect of the total weight of the trailer unit, the position of its center of gravity; position of the movable support, and overall size of the trailed bogie.

Щитов Сергей Васильевич, д.т.н., профессор, профессор кафедры, 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.

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

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.

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

Одним из главных недостатков использования мобильных машинно-тракторных агрегатов (МТА) является негативное воздействие их ходовых систем на почву, что приводит к ухудшению физико-механических свойств почвы. В результате этого воздействия снижается урожайность сельскохозяйственных культур и, как следствие, эффективность их производства. Гарантом получения высокого урожая, следовательно, эффективности проводимых работ в технологии возделывания сельскохозяйственных работ является сохранение плодородия почвы, которое возможно достичь за счет:

- снижения техногенного воздействия на почву;
- обеспечения растений необходимыми питательными веществами.

Одним из путей снижения техногенного воздействия на почву является оптимизация нормальных силовых нагрузок на опорные поверхности используемых в технологии возделывания сельскохозяйственных культур машинно-тракторных агрегатов.

Для обеспечения растений необходимыми питательными веществами используются специальные сельскохозяйственные машины – разбрасыватели удобрений. Используемые в

настоящее время разбрасыватели удобрений выполнены по принципу полуприцепов, одной точкой опоры которых являются колёса самого разбрасывателя, а другой – опорно-сцепное устройство, расположенное на самом энергетическом средстве. Основным недостатком данных разбрасывателей удобрений, а также одноосных прицепных сельскохозяйственных агрегатов является непостоянство силовых нагрузок на опорные основания машинно-тракторных агрегатов. Это вызвано двумя причинами:

- изменение общей массы прицепной одноосной машины в процессе её работы;
- зависимость от наклона поверхности, по которой движется данный машинно-тракторный агрегат.

Вопросу перераспределения силовых нагрузок на опорные основания машинно-тракторных агрегатов посвящен ряд исследований [1-3]. Как показал их анализ, они не рассматривали вопрос перераспределения силовых нагрузок на опорные основания энергетических средств в агрегате с одноосными прицепными машинами.

Одним из способов решения обозначенной выше проблемы является разработка устройства, которое позволяло бы в процессе работы изменять силовую нагрузку на опорные поверх-

ности машинно-тракторного агрегата при изменении общей массы в процессе работы прицепной одноосной сельскохозяйственной машины или при движении по поверхности, имеющей угол наклона к горизонту [4, 5].

На основании вышесказанного **целью** исследования является разработка и обоснование устройства, позволяющего перераспределять силовую нагрузку на опорные основания энергетического средства и одноосной прицепной машины.

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

- разработать устройство, позволяющее перераспределять силовую нагрузку на опорные основания энергетического средства и одноосной прицепной машины;

- теоретически обосновать эффективность смещения точки соединения энергетического средства и прицепной одноосной сельскохозяйственной машины при выполнении работы.

Объекты и методы исследования

Как уже отмечалось выше, при использовании одноосных прицепных агрегатов, используемых в технологии возделывания сельскохозяйственных культур, в результате изменения массы происходит изменение их центра тяжести, следовательно, и нагрузки на сцепное устройство энергетического средства. Это, как правило, оказывает влияние и на распределение силовых нагрузок, приходящихся на опорные поверхности трактора, в результате чего, происходит изменение:

- нормального давления, оказываемого движителем на почву;
- продольной устойчивости при движении по поверхности, имеющей уклон;
- его тягово-сцепных возможностей энергетического средства.

С этой целью было разработано догружающе-распределяющее устройство для агрегатирования одноосных прицепных агрегатов позволяющее решить выше обозначенные задачи, на которое был получен патент РФ № 230744 от 18.12.2024 г. (рис. 1).

В предлагаемом устройстве одноосный прицепной агрегат опирается одной стороной на опорно-сцепное устройство, которое имеет возможность перемещаться по платформе подкатной тележки [6]. Это даёт возможность, изменяя положение опорно-сцепного устройства

на подкатной тележке, регулировать нагрузку, приходящуюся на него по мере изменения общей массы одноосной прицепной сельскохозяйственной машины.

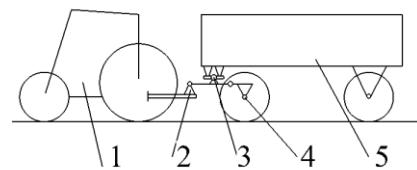


Рис. 1. Принципиальная схема догружающе-распределяющего устройства для агрегатирования одноосных прицепных агрегатов

1 – энергетическое средство;

2 – опорно-сцепное устройство;

3 – передвижная опора; 4 – подкатная тележка;

5 – одноосный прицепной агрегат

Для обоснования конструктивно-технологических параметров машинно-тракторного агрегата (рис. 2) при агрегатировании прицепных одноосных машин рассмотрим его как составную конструкцию, состоящую из:

- энергетического средства;
- подкатной тележки;
- одноосного прицепного агрегата.

Определим силовые нагрузки, в зависимости от положения опорно-сцепного устройства на подкатной тележке, приходящиеся на:

- передвижную опору;
- опорно-сцепное устройство;
- задние (передающие крутящий момент) колёса энергетического средства.

Составив и решив уравнение моментов, определим силовую нагрузку в передвижной опоре:

$$N_{\text{пп}}(T - c) - G_{\text{пп}}M = 0 \quad (1)$$

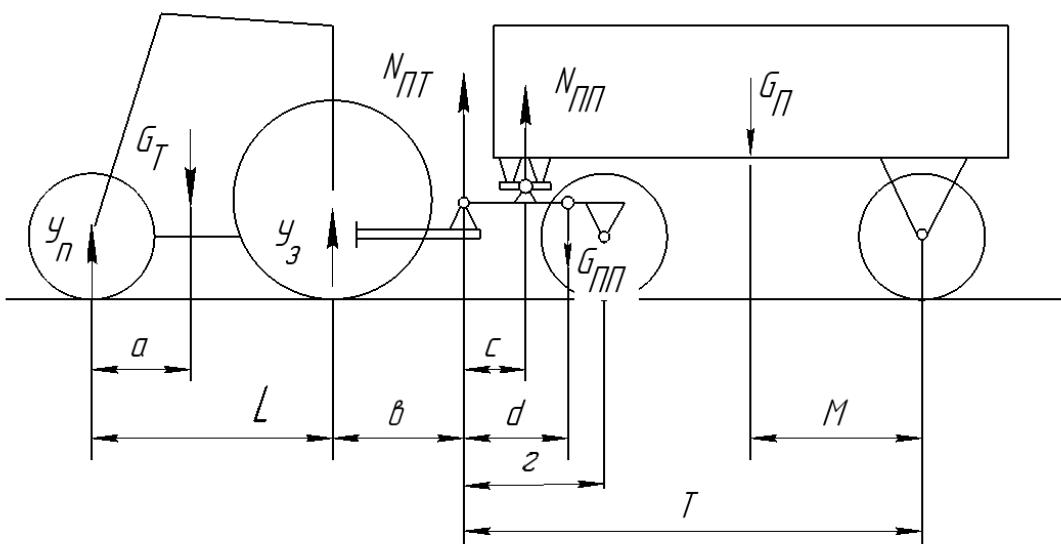
или $N_{\text{пп}} = \frac{G_{\text{пп}}M}{T - c} \quad (2)$

Аналогичным образом определим силовую нагрузку в опорно-сцепном устройстве с учётом выражения (2)

$$N_{\text{пп}} = \frac{G_{\text{пп}}M(r - c)}{(T - c)r} + \frac{G_{\text{пп}}(r - d)}{r}. \quad (3)$$

Составив и решив уравнение моментов и учитывая ранее полученное выражение (3), определим силовую нагрузку почвы на задние (передающие крутящий момент) колёса энергетического средства:

$$Y_3 = \frac{G_T a}{L} \left(\frac{G_{\text{пп}}M}{T - c} - \frac{G_{\text{пп}}Mc}{(T - c)r} + G_{\text{пп}} - \frac{G_{\text{пп}}d}{r} \right) \left(\frac{L + b}{L} \right). \quad (4)$$

**Рис. 2. Конструктивно-технологические параметры предлагаемого МТА:** G_m – вес энергетического средства; H ; G_n – общий вес прицепного одноосного агрегата; H ; G_{pp} – общий вес подкатной тележки; H ; Y_n , Y_z – силовая нагрузка почвы, соответственно, на передние (не передающие крутящий момент)и задние (передающие крутящий момент) колёса энергетического средства; H ; N_{nm} – силовая реакция в опорно-цепном устройстве; H ; N_{nn} – силовая реакция в передвижной опоре, H ; a – расстояние от точки приложения веса энергетического средства до реакции опорного основания на передние неведущие колёса энергетического средства, м; L – расстояние между реакцией опорного основания на передние неведущие колёса трактора и реакцией опорного основания на задние (передающие крутящий момент) колёса, м; b – расстояние от реакции опорного основания на задние ведущие колёса энергетического средства до опорно-цепного устройства; м; c – расстояние от опорно-цепного устройства до реакции почвы на колёса одноосной машины для внесения удобрений, м; m – расстояние от точки приложения веса одноосной машины для внесения удобрений до реакции колёс одноосной машины для внесения удобрений; м; c – расстояние между опорно-цепным устройством и передвижной опорой, м; d – расстояние от опорно-цепного устройства до точки приложения общего веса подкатной тележки, м; T – расстояние от опорно-цепного устройства до точки контакта колёс одноосного прицепного агрегата с опорным основанием, м

Результаты и обсуждение

На основании полученного выражения, позволяющего определить силовую нагрузку почвы на задние (передающие крутящий момент) колёса энергетического средства, можно констатировать следующее:

- полученное выражение можно использовать для определения силовой нагрузки почвы на задние (передающие крутящий момент) колёса энергетического средства при отсутствии подкатной тележки. Так, в этом случае с и G_{pp} будут равняться нулю;

- величина $\frac{G_t a}{L}$ учитывает силовую нагрузку на задние (передающие крутящий момент) колёса энергетического средства, создаваемую им самим;

- значение $\left(\frac{G_{pp} d}{\Gamma}\right) \left(\frac{L+b}{L}\right)$ учитывает силовую нагрузку, передаваемую на задние (передающие крутящий момент) колёса энергетического средства, от подкатной тележки;

- величина $\left(\frac{G_{pp} M}{T-c} - \frac{G_{pp} M_c}{(T-c)\Gamma}\right) \left(\frac{L+b}{L}\right)$ учитывает:

- влияние общего веса прицепного одноосного агрегата;

- положение центра тяжести прицепного одноосного агрегата;

- положение передвижной опоры;

- габаритный размер подкатной тележки.

Выводы

Использование предлагаемого устройства позволяет перераспределять силовую нагрузку (цепной вес) на опорные основания энергети-

ческого средства и одноосной прицепной машины путём изменения положения передвижной опоры на подкатной тележке. Установлено, что с увеличением расстояния между опорно-сцепным устройством и передвижной опорой изменяется силовая нагрузка на движители энергетического средства:

- на задние (передающие крутящий момент) колёса энергетического средства снижается на 14,5-16,1% в зависимости от перевозимой массы и изменения центра тяжести прицепного одноосного агрегата;
- на передние (не передающие крутящий момент) колёса энергетического средства повышается на 8,6-9,2% в зависимости от перевозимой массы и изменения центра тяжести прицепного одноосного агрегата.

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. Рusanov, V. A. Problema pereuplotneniya pochv dvizhiteliami i effektivnye puti ee reshenii. Moskva: VIM, 1998. 368 s. – 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. Влияние трактора с фронтальным прокалывателем-щелерезом на физико-механические свойства почвы / С. В. Щитов, А. В. Бурмага, З. Ф. Кривуца. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2025. – № 1 (243). – С. 85-90.
5. 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 Оренбург-

ского государственного аграрного университета. – 2024. – № 5 (109). – С. 144-148.

6. Патент № 230744 Российской Федерации МКИ B 62/D 63/08. Догружающе-распределяющее устройство для агрегатирования одноосных прицепных агрегатов / Щитов С. В., Кривуца З. Ф., Поликутина Е.С. [и др.]; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего. – № 224126669; заявл. 11.09.2024; опубл. 18.12.2024, Бюл. № 35. – 6 с. – 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. Rusanov V.A. Problema pereuplotneniya pochv dvizhiteliami i effektivnye puti ee reshenii. Moskva: VIM, 1998. 368 s.
3. Polikutina E.S., Shchitov S.V., Krivutsa Z.F., Shkolnikov P.N., Ermakov D.V. Povyshenie proizvoditelnosti pritseplnykh agregatov pochvoobrabatyvaiushchikh mashin // Vestnik Kurganskoi GSKhA. 2024. No. 3 (51). S.71- 77.
4. Vliianie traktora s frontalnym prokalyvatelym-shchelerezom na fiziko-mekhanicheskie svoistva pochvy / S.V. Shchitov, A.V. Burmaga, Z.F. Krivutsa, E.S. Polikutina, R.O. Surin // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2025. No. 1 (243). S. 85–90.
5. Polikutina E.S., Shchitov S.V., Krivutsa Z.F. Uluchshenie tiagovykh pokazatelei kolesnykh energeticheskikh sredstv pri rabote s pritseplnymi agregatami // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2024. No. 5 (109). S. 144-148.
6. Patent na poleznuiu model №. 230744 Rossiiskaia Federatsiia MKI V 62/D 63/08. Dogruzhaiushche-raspredeliaushee ustroistvo dlja aggregirovaniia odnoosnykh pritseplnykh agregatov / S.V. Shchitov, Z.F. Krivutsa i dr. // zaikava No. 224126669 ot 11.09.2024.

