

## СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРАКТОРНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ

Николай Филиппович Скурятин<sup>1</sup>  
Владимир Иванович Оробинский<sup>2</sup>  
Андрей Викторович Ворохобин<sup>2</sup>  
Евгений Владимирович Соловьев<sup>1</sup>  
Сергей Владимирович Соловьев<sup>1</sup>  
Борис Станиславович Зданович<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина

<sup>2</sup>Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

<sup>3</sup>Белгородский филиал ООО «Юпитер 9»

Рассмотрены способы рационального использования тракторных транспортно-технологических агрегатов. Разработано новое тягово-догрузочное устройство к агрегату в составе МТЗ-80+РОУ-6. Это устройство выполнено на базе автоматической сцепки и дает возможность переместить догружающую трактор силу внутрь его базы на уровне опорной поверхности, что исключает разгрузку передних управляемых колес трактора и делает его грузонесущим. Предложена уточненная методика определения грузоподъемности транспортно-технологического агрегата с учетом изменяющихся условий эксплуатации в ЦЧР. Показано, что при грузоподъемности 80,44 кН и при степени загрузки двигателя трактора 0,9 агрегат может двигаться со скоростью 3 м/с на склоне в диапазоне от 0 до 2°. Предельными условиями увеличения грузоподъемности агрегата являются прочностные свойства каркаса трактора, несущая способность шин и мощность двигателя. Применение разработанного тягово-догрузочного устройства к двухосному прицепу типа 2ПТС-4 позволяет увеличить грузонесущую способность агрегата в составе МТЗ-80+2ПТС-4 на 0,785 т. Проведена модернизация полуприцепа-распределителя органических удобрений типа РОУ-6, заключающаяся в переустановке рабочих органов с задней части кузова на переднюю и изменении направления подачи удобрений, позволившая обеспечить постоянную догрузку трактора в процессе опорожнения кузова. Данное конструктивное решение позволяет гарантировать стабильную догрузку сцепного устройства трактора в процессе опорожнения кузова, уменьшить часовой расход топлива двигателем на 1,126 л/ч и снизить буксование на 0,523%, при этом нагрузка на переднюю ось находится в допустимых пределах для углов склона полей до 4,2°.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: прицеп, грузоподъемность, полуприцеп-распределитель, удобрение, подача, догрузка, сила, агрегат.

## ON FINDING WAYS FOR EFFICIENCY UPGRADING OF ACTUAL USE OF TRACTOR TRANSPORTING AND TECHNOLOGICAL UNITS

Nikolai F. Skuryatin<sup>1</sup>  
Vladimir I. Orobinsky<sup>2</sup>  
Andrey V. Vorokhobin<sup>2</sup>  
Evgeniy V. Solovev<sup>1</sup>  
Sergey V. Solovev<sup>1</sup>  
Boris S. Zdanovich<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin

<sup>2</sup>Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

<sup>3</sup>ООО Jupiter 9, Belgorod Branch

The ways of rational use of tractor transporting and technological units are considered. The new traction and loading device to the unit in assembly with MTZ-80+ROU-6 is offered. This device is designed on the basis of automatic coupling and makes it possible to remove traction boosting force inside tractor's base at the level of the support surface, which eliminates the unloading of the front driven wheels of the tractor and makes it load-

bearing. The paper presents a refined method of determining the load capacity of the transport and technological unit, taking into account the changing operating conditions in the CChR. It was found that with a load capacity of 80.44 kN and at the tractor engine load of 0.9, the unit can move at a speed of 3 m/s on a slope which profile is in the range from 0° to 2°. Limiting conditions for increasing the load capacity of the unit are the strength properties of the tractor frame, load-bearing capacity of the tires and the engine power. The application of the developed traction and loading device to 2PTS-4 type double-axle trailer allows increasing load-carrying ability of the unit in assembly with MTZ-80+2PTS-4 by 0.785 ton. The authors fulfilled modernization of the ROU-6 type semitrailer-distributor of organic fertilizers, consisting in the reinstallation of the working elements from the rear to the forebody section, and in change the direction of fertilizer supply. Such modernization allowed ensuring constant additional loading of the tractor in the process of the body clearance. The proposed design solution guarantees stable reloading of the tractor coupling device in the process of body clearance, to reduce the engine fuel consumption per hour by 1.126 L/h and to reduce slipping by 0.523%, whereas the load on the front axle group is within the limits of permissible norms for the angles of slope of the fields up to 4.2°.

KEYWORDS: trailer, load capacity, semitrailer-distributor, fertilizer, supply, reloading, force, unit.

**В** настоящее время совершенствование конструкции мобильных энергетических средств идет по пути повышения их энергонасыщенности, автоматизации, электронизации, интеллектуализации и другим направлениям. Активно внедряется направление по использованию шин низкого давления для снижения негативного влияния на почву. Увеличение единичной мощности выпускаемых тракторов подтверждается анализом их технических характеристик [2, 3, 23, 25].

В настоящее время возникла необходимость расширить возможности двигателей при использовании тракторов классической схемы на транспортно-технологических операциях. Из-за недостаточности весовой нагрузки, приходящейся на ведущий мост, реализация потенциала двигателей не представляется возможной [5, 6, 7, 12, 16].

Доля занятости тракторов на транспортных работах составляет 50–67%, а на внесении органических и минеральных удобрений – 5% [4, 9]. В подразделениях, осуществляющих деятельность, связанную с применением различных видов удобрений, годовая загрузка подобных тракторов на транспортных и транспортно-технологических работах достигает 90%. Это указывает на необходимость выполнения анализа факторов, влияющих на увеличение эффективности применения колесных тракторов на транспортных операциях.

Известны следующие способы улучшения тягово-сцепных свойств тракторов:

- деление мощности двигателя на два и более потоков;
- изменение сцепного веса трактора;
- совершенствование ходовой системы энергетического средства.

Доказано, что наиболее эффективными способами увеличения тяговых свойств тракторов являются те, которые направлены на изменение сцепного веса.

Когда применяют балластные грузы и заливку воды в пневматические шины, происходит увеличение сцепного веса трактора, но это приводит к повышению затрат энергии на транспортирование балласта, хотя в этом нет необходимости [10, 11, 21, 22, 24].

В сельскохозяйственном производстве для перевозки различных грузов применяют прицепы и полуприцепы, агрегируемые с тягачами посредством гидрокрюка или седельных устройств.

Современная структура парка подвижного состава характеризуется следующим образом: прицепы общего назначения составляют 65–75%, распределители органических удобрений – 10–20%, распределители минеральных удобрений – 5–10%. Прицепной вариант подвижных средств получил наибольшее распространение, отличается простотой агрегирования с тягачом, не зависит от его компоновочной схемы. Эффективное использование трактора в агрегате с прицепом целесообразно, если его сцепной вес является достаточным. Это требование обуславливает увеличение сцепного веса трактора.

Проанализируем известные способы повышения эффективности применения полуприцепного и прицепного тракторного агрегата, а также полуприцепного транспортно-технологического агрегата переменной массы.

*Полуприцепной агрегат*

Очевидным является то, что при условии расположения составляющей равнодействующей силы взаимодействия полуприцепа и трактора между задней и передней осями ее вертикальная составляющая не перераспределяет общий вес трактора между передними и задними опорами, а увеличивает реакции опорной поверхности на обе оси. Кроме того, горизонтальная составляющая силы также не ведет к перераспределению его веса между опорами из-за того, что плечо приложения этой силы равно нулю.

Анализ технической и патентной литературы показал, что имеющиеся конструктивные решения сцепных устройств обеспечивают приложение силы взаимодействия трактора и полуприцепа в базе трактора [1, 14, 15], но ни одно из известных технических решений не может приложить к трактору силу на уровне опорной поверхности. Известно сцепное устройство [15], предназначенное для агрегатирования тракторов классической схемы с полуприцепами, позволяющее повысить грузоподъемность транспортно-технологических агрегатов и улучшить их тягово-сцепные свойства.

Тягово-сцепное устройство (ТСУ) создано на базе известной автоматической сцепки СА-1, причем ответный элемент жестко крепится к дышлу полуприцепа, а навеска трактора переоборудуется в двухточечную. Особенность его заключается в том, что проекции верхней и нижних тяг звеньев на вертикальную плоскость располагаются под острым углом друг к другу (рис. 1).

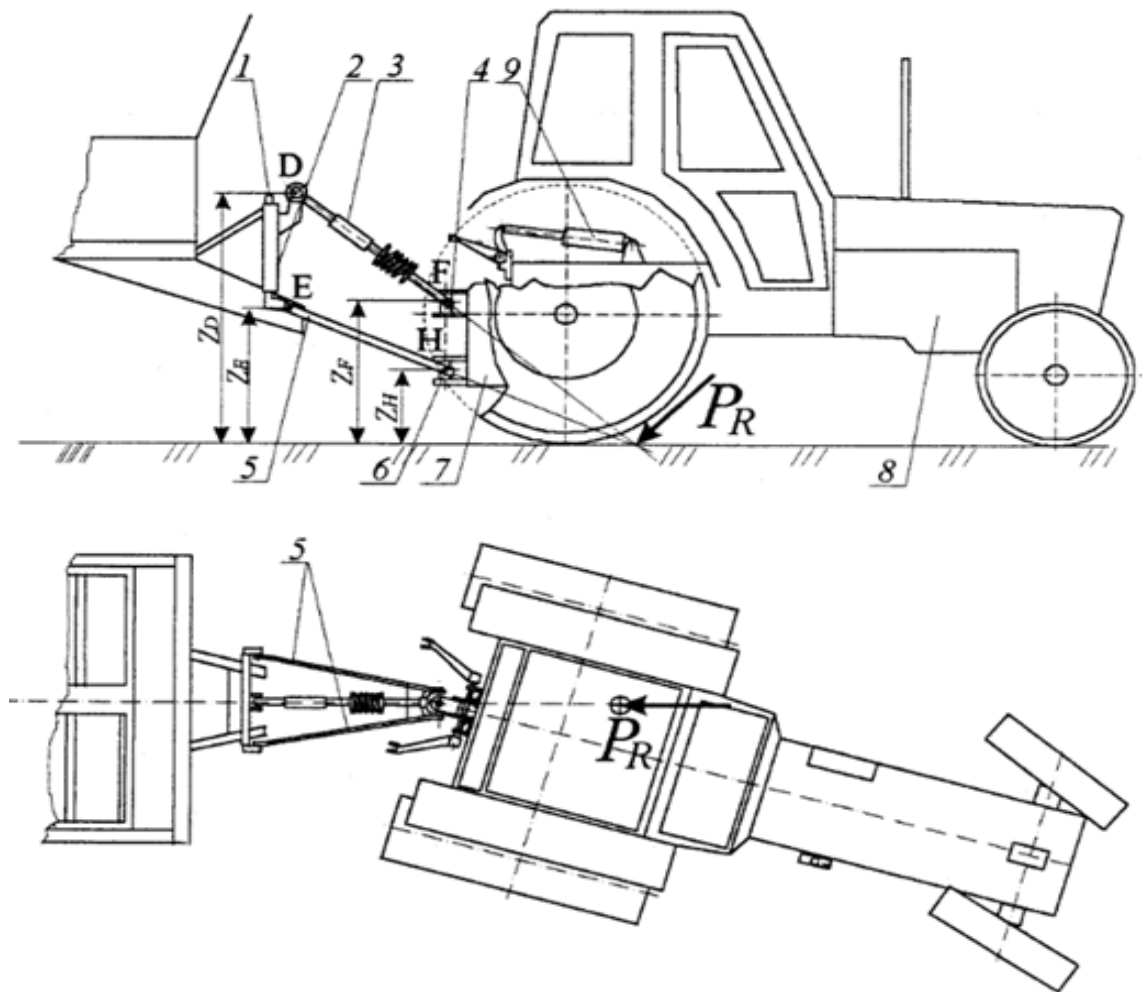


Рис. 1. Схема тягово-сцепного устройства к трактору тягового класса 14 кН:  
 1 – сцепной элемент; 2 – ответный элемент; 3 – верхняя тяга гидронавески;  
 4, 6 – шарниры кардана-Гука; 5 – нижние тяги гидронавески;  
 7 – кронштейн; 8 – трактор; 9 – гидроцилиндр

Рассматриваемое тягово-сцепное устройство (ТСУ) имеет сцепной элемент 1, соединенный тремя шарнирами тяги гидронавески трактора (двумя – нижними и одним – верхним). Ответный элемент 2 приварен к дышло полуприцепа, а верхняя тяга 3 передним концом соединена с горизонтальной осью шарнира кардана-Гука 4, закрепленного на кронштейне 7, а задним – со сцепным элементом 1 (посредством специального шарнира). Нижние тяги гидронавески 5 передними концами, через специальные шарниры, соединены с горизонтальной осью шарнира кардана-Гука 6. Он также установлен на кронштейне 7, который жестко прикреплен к корпусу заднего моста трактора 8. Оба шарнира кардана-Гука расположены на кронштейне 7 с возможностью поворота вокруг вертикальных осей, причем оси шарниров расположены на вертикальной линии.

Тягово-сцепное устройство функционирует следующим образом. Для реализации соединения полуприцеп подводят к трактору. Сцепной элемент 1 соединяют с ответным элементом 2, посредством подъема нижних тяг гидронавески трактора 5 гидроцилиндром 9. Затем соединяют элементы шлицевого конца карданного вала и привода рабочих органов разбрасывателя. Соединенные элементы 1 и 2 фиксируют запорным устройством. При этом золотник гидрораспределителя, который управляет гидроцилиндром 9 навески трактора, включают в «плавающее» положение.

В горизонтальное положение кузов полуприцепа переводят путем изменения длины центральной тяги гидронавески 3. В результате взаимодействия конструктивных элементов ТСУ часть веса полуприцепа передают на трактор.

Поворот трактора в горизонтальной плоскости относительно полуприцепа осуществляют поворотом тяг 5 и верхней тяги 3 вокруг вертикальной оси шарниров кардана-Гука.

При движении агрегата в начале подъема или его завершении изменение положения трактора относительно полуприцепа в продольной плоскости осуществляют путем поворота нижних тяг и тяги 3 вокруг горизонтальной оси шарнира кардана-Гука 4. В момент изменения положения полуприцепа и трактора в поперечно-вертикальной плоскости поворот нижних тяг гидронавески 5 осуществляется в специальных шарнирах, а тяги 3 – вокруг вертикальной оси шарнира кардана-Гука 4.

Отсоединение полуприцепа от трактора осуществляют следующим образом: размыкают запорное устройство ТСУ, переключают золотник гидрораспределителя в положение «опускание», дышло полуприцепа ставят на подставку, сцепной элемент автосцепки выводят из зацепления с ответным элементом автосцепки.

Ранее отмечалось, что горизонтальная составляющая догружающей трактор силы со стороны полуприцепа, действующая на уровне опорной поверхности, не перераспределяет его общий вес между опорами, а лишь способствует росту или снижению реакции опорной поверхности одновременно на переднюю и заднюю оси.

В этом случае в полуприцепном агрегате трактор становится не только тяговым, но и грузонесущим, поэтому возникает необходимость в уточнении методики определения его рациональной грузоподъемности.

В основу методики определения грузоподъемности полуприцепного агрегата положены следующие допущения:

- трактор используется как тягово-приводное средство и как грузонесущее;
- сила со стороны полуприцепа, догружающая трактор, находится внутри базы;
- мощность и степень загрузки двигателя трактора известны.

Таким образом, мощностной баланс транспортно-технологического агрегата примет вид [18]

$$N_{en} \cdot \xi = \frac{[(G_{TЭ} + P_Z) \cdot (f_{TP} + \sin \alpha) + (Q_{OB} - P_Z) \cdot (f_{ПП} + \sin \alpha)] \cdot V_P}{\eta_{TP} \cdot [1 - \delta_{TP}]} + \frac{N_{ВОМ}}{\eta_{ВОМ}}, \quad (1)$$

где  $N_{en}$  – мощность двигателя, Вт;  
 $\xi$  – степень загрузки двигателя;  
 $G_{TЭ}$  – вес трактора, Н;  
 $Q_{OB}$  – общий (полный) вес полуприцепа, Н;  
 $N_{ВОМ}$  – мощность, потребляемая приводом рабочих органов распределителя, Вт;  
 $V_P$  – расчетная скорость агрегата, м/с;  
 $\eta_{TP}$  – КПД трансмиссии;  
 $\eta_{ВОМ}$  – КПД ВОМ;  
 $\delta_{TP}$  – буксование ведущих колес трактора;  
 $f_{TP}, f_{ПП}$  – коэффициенты сопротивления перекатыванию трактора и полуприцепа;  
 $\alpha$  – угол склона, градус.

Выразим переменные, входящие в выражение (1) в функции грузоподъемности агрегата.

В работе [18] показано, что мощность, потребляемая приводом рабочих органов полуприцепа-распределителя органических удобрений, есть функция

$$N_{ВОМ} = f(B_P; d; V_P; Q), \quad (2)$$

где  $B_P$  – ширина захвата распределителя, м;  
 $d$  – установленная доза внесения органических удобрений, кг/м<sup>2</sup>;  
 $Q$  – грузоподъемность полуприцепа-распределителя, Н.

Экспериментальными исследованиями [18] установлена эмпирическая зависимость мощности привода вала отбора

$$N_{ВОМ} = 820 + 6,73 \cdot 10^{-3} \cdot Q + 5,91 \cdot 10^{-4} \cdot B_P \cdot d \cdot V_P \cdot Q. \quad (3)$$

На основе сбора и обработки данных технических характеристик полуприцепов-распределителей органических удобрений получена корреляционная зависимость грузоподъемности и веса распределителя органических удобрений [18]

$$G_{ПП} = 0,345 \cdot Q. \quad (4)$$

Принимая во внимание, что сила, догружающая трактор, есть часть веса полуприцепа и веса транспортируемого груза, представим ее величину в виде следующей зависимости:

$$P_Z = 1,345 \cdot Q \cdot \beta_Z, \quad (5)$$

где  $\beta_Z$  – доля общего веса груженого полуприцепа-распределителя, догружающая трактор.

Далее определим рациональную грузоподъемность полуприцепа-распределителя органических удобрений, агрегируемого с трактором МТЗ-80, оснащенным тягово-сцепным устройством. С целью получения эмпирической зависимости буксования ведущих колес трактора от догружающего усилия  $P_Z$  и веса полуприцепа  $Q_{OB}$  без учета силы, догружающей трактор, были проведены эксперименты.

В результате обработки экспериментальных данных получена следующая зависимость:

$$\delta_{TP} = -4,804 + 0,163 \cdot Q_{OB} - P_Z - 0,33 \cdot P_Z - 4,65 \cdot 10^{-4} \cdot (Q_{OB} - P_Z)^2 + 0,021 \cdot P_Z \cdot (Q_{OB} - P_Z) + 0,0395 \cdot P_Z^2. \quad (6)$$

После подстановки в выражение мощностного баланса переменных, представленных как функции грузоподъемности распределителя, и сделанных преобразований зависимость (1) приняла вид

$$Q^3 \cdot A_1 \cdot A_3 - Q^2 \cdot (N \cdot A_3 - A_2 \cdot A_3 - A_1 \cdot A_4) - \\ - Q \cdot [N \cdot A_4 + 1,345 \cdot \beta_Z \cdot (f_{TP} + \sin \alpha) \cdot V - 1,345 \cdot (f_{TP} + \sin \alpha) \cdot V \cdot (\beta_Z - 1) - A_2 \cdot A_4 + A_1 \cdot 1,04804] + \\ + N + N \cdot 0,04804 - G_{TЭ} \cdot (f_{TP} + \sin \alpha) - A_2 - A_2 \cdot 0,04804 = 0, \quad (7)$$

где  $A_1 = (6,73 \cdot 10^{-3} + 5,91 \cdot 10^{-4} \cdot B_p \cdot d \cdot V_p) \cdot \eta_{TP}$ ;

$$A_2 = 820 \cdot \eta_{TP};$$

$$A_3 = -8,41 \cdot 10^{-12} + 3,974 \cdot 10^{-10} \cdot \beta_Z + 3,249 \cdot 10^{-10} \cdot \beta_Z^2;$$

$$A_4 = 2,19 \cdot 10^{-16} - 2,949 \cdot 10^{-5} \cdot \beta_Z;$$

$$N = N_{en} \cdot \xi \cdot \eta_{TP} \cdot \eta_{BOM};$$

$$V = \eta_{BOM} \cdot V_p;$$

$V$  – расчетная скорость трактора, м/с.

Результаты расчетов по определению рациональной грузоподъемности тракторного транспортно-распределительного агрегата на базе трактора типа МТЗ-80 с двигателем мощностью 58 кВт при его степени загрузки 0,9, дозе внесения органических удобрений 4,5 кг/с, ширине распределения 5 м показали, что для углов склона полей до 2°, грузоподъемность этого агрегата составляет 80,44 кН. При этой грузоподъемности агрегат может двигаться со скоростью  $V_p = 10$  км/ч. На четвертой передаче можно работать при угле склона до 5° (в Центрально-Черноземном регионе поля с углом склона более 5° встречаются с вероятностью 5% [8]).

#### Прицепной агрегат

Анализ известных конструктивных решений по догрузке трактора со стороны прицепа выявил разнообразие решений, а также их недостатки. При этом общим недостатком всех известных решений является отсутствие конструктивных элементов, позволяющих использовать силу сопротивления передвижению прицепа в качестве догружающей сцепное устройство трактора.

Предложено тягово-догрузочное устройство к прицепу, позволяющее силу сопротивления перекачивания  $P_{кр}$  использовать как догружающую сцепное устройство трактора [17, 19] (рис. 2).

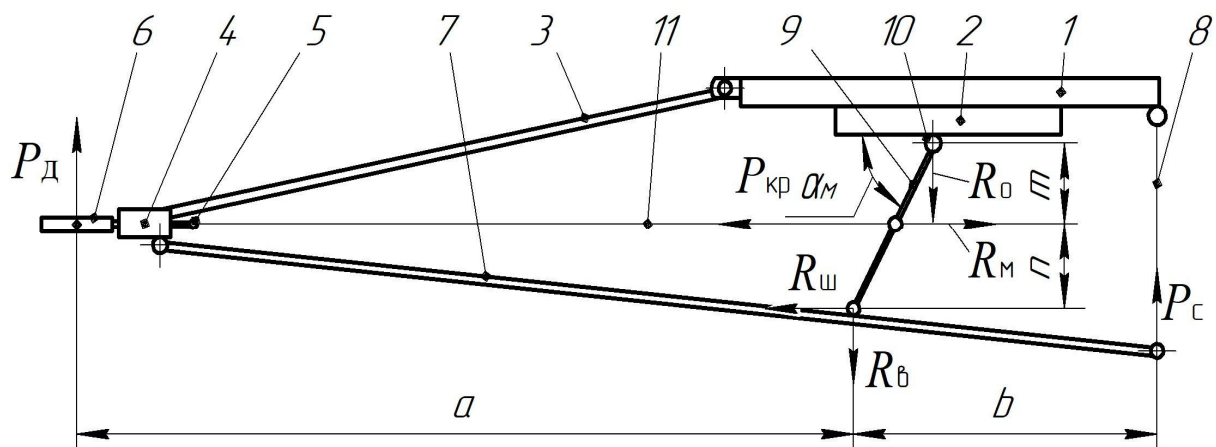


Рис. 2. Схема ТДУ к двухосному прицепу: 1 – рама поворотной тележки прицепа; 2 – упор; 3 – дышло; 4 – муфта; 5 – кронштейн; 6 – тяговое кольцо; 7 – балка; 8 – серьга; 9 – маятник; 10 – ролик; 11 – тяга

Взаимодействие конструктивных элементов ТДУ одного с другим и воздействие их на гидронавеску трактора осуществляется следующим образом: силу сопротивления перекачивания прицепа  $P_{кр}$  трактор преодолевает путем приложения силы к тяговому кольцу дышла прицепа 6, кронштейн 5, соединенный с тягой 11, причем ее противоположный конец шарнирно соединен со серединой маятника 9. В точке присоединения тяги 11 к маятнику 9 возникает реакция опоры  $R_m$ , равная значению  $P_{кр}$ , но направленная в обратную сторону, причем она распределяется на две составляющие:  $R_o$  и  $R_{ш}$ . Реакция опоры  $R_o$  в точке  $D$  направлена перпендикулярно упору 2, а в точке  $A$  (см. рис. 3), лежащей на балке 7,  $R_{ш}$  направлена горизонтально.

Сила  $R_{ш}$  является составляющей суммарной силы, действующей со стороны нижнего конца маятника 9 на балку 7. Вертикальная составляющая равнодействующей сил  $R_g$  в точке  $A$  равна по величине силе  $R_o$ , она направлена вниз и компенсируется реакциями сил, образующихся в тяговом кольце 6 – сила  $P_d$  и серьге 8 – сила  $P_c$ .

Откуда следует, что применение предложенного ТДУ к прицепу позволяет использовать силу сопротивления  $P_{кр}$  в качестве догружающей трактор силы  $P_d$ , однако наблюдается разгрузка передней оси прицепа, что указывает на необходимость корректирования его установленной грузоподъемности.

Взаимодействие конструктивных элементов предложенного ТДУ описано выражением (8), анализ которого показывает, что догружающая сила  $P_d$  есть функция крюкового усилия трактора, соотношения плеч маятника, балки и угла наклона маятника к упору.

$$P_d = P_{кр} \cdot \frac{1}{1 + \frac{n}{m}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{a}{b}} \cdot \operatorname{tg} \alpha_M, \quad (8)$$

где  $m$  и  $n$  – проекции верхней и нижней части плеч маятника на вертикальную плоскость;

$a$  и  $b$  – длина соответственно переднего и заднего концов балки.

Зависимость (8) указывает на широкие возможности регулирования догружающей трактора силы со стороны прицепа в зависимости от условий эксплуатации прицепного ТТА. Наиболее существенным является то, что с увеличением силы сопротивления прицепу возрастает и догружающая сцепное устройство трактора сила.

Предложенное ТДУ позволяет разгрузить прицеп на величину, равную  $P_d$ , и делает при этом трактор грузонесущим энергетическим средством. Следовательно, номинальную грузоподъемность прицепа можно повысить на величину  $P_d$

$$Q_{ПР}^* = Q_{ПР} + P_d, \quad (9)$$

где  $Q_{ПР}^*$  – значение рациональной грузоподъемности прицепа, оснащенного ТДУ;

$Q_{ПР}$  – номинальное значение грузоподъемности прицепа.

Тогда с учетом зависимости (8) выражение (9) запишется как

$$Q_{ПР}^* = Q_{ПР} + P_{кр} \cdot \frac{1}{1 + \frac{n}{m}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{a}{b}} \cdot \operatorname{tg} \alpha_M, \quad (10)$$

при этом значение крюкового усилия определяется зависимостью

$$R_{кр}^I = G_{ПР} \cdot f_{ПР} \cdot \cos \alpha + G_{ПР} \cdot \sin \alpha. \quad (11)$$

Следовательно, рациональная грузоподъемность модернизированного прицепа будет равна

$$Q_{ПР}^* = Q_{ПР} + G_{ПР} (f_{ПР} \cdot \cos \alpha + \sin \alpha) \cdot \frac{1}{1 + \frac{n}{m}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{a}{b}} \cdot \operatorname{tg} \alpha_M. \quad (12)$$

Из уравнения (12) следует, что рациональная грузоподъемность модернизированного прицепа есть функция параметров, характеризующих производственные условия –  $f_{\text{пр}}$ ,  $\alpha$  и конструктивных параметров ТДУ –  $a, b, n, m, \alpha_M$ .

Для средних условий эксплуатации угла склона поля  $\bar{\alpha} = 2,5^\circ$  и коэффициента сопротивления передвижению агрегата  $\bar{f} = 0,12$  рациональная грузоподъемность прицепа типа 2ПТС-4, оснащенного ТДУ, равна  $Q_{\text{пр}}^* = 4,785t$ .

*Полуприцепной агрегат с переменной массой.*

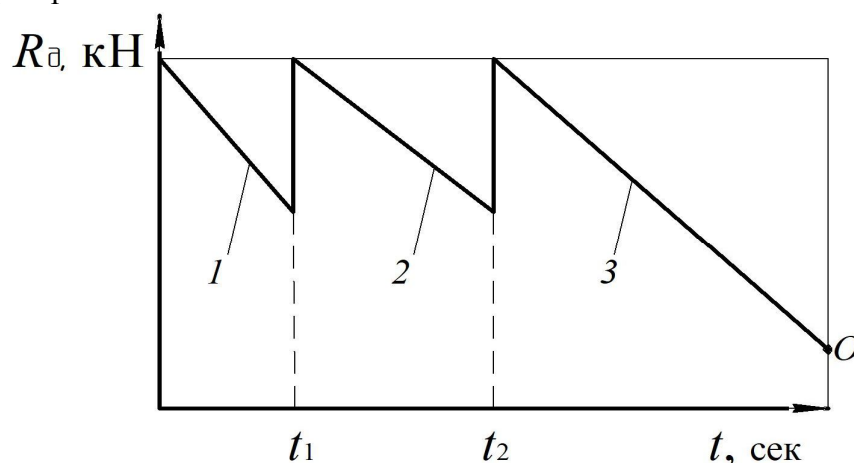
Особенность работы кузовных распределителей органических удобрений заключается в том, что разгрузка кузова при распределении удобрений выполняется с передней части, что в результате приводит к снижению догрузки на сцепное устройство трактора. Сократить или устранить снижение догрузки сцепного устройства трактора можно двумя способами:

- провести модернизацию распределителя так, чтобы осуществлялось смещение назад балансиров колес относительно рамы, а затем при определенной разгрузке кузова происходил подъем передних колес.

- установить распределяющие рабочие органы (битера) не традиционно в задней части кузова, а в передней, т. е. подачу органических удобрений осуществлять не классически – назад (от трактора), а вперед (в сторону трактора).

Модернизация по первому способу будет проведена для полуприцепа-распределителя типа РОУ-6, имеющего грузоподъемность 6 тонн, оборудованного планчатым подающим транспортером, а его распределяющие рабочие органы состоят из двух горизонтальных битеров.

На рисунке 3 представлена схема изменения догружающего усилия на сцепное устройство трактора со стороны полуприцепа-распределителя по первому варианту модернизации. На графике показаны три кривые (1, 2, 3), которые в первом случае характеризуют базовый вариант, во втором случае – смещение кронштейнов назад, а в третьем – кривая соответствует одновременному смещению кронштейнов назад и подъему передних колес вверх. Точка О указывает на полное опорожнение кузова полуприцепа-разбрасывателя.



**Рис. 3** Схема изменения догружающего усилия сцепного устройства трактора от продолжительности опорожнения кузова полуприцепа-разбрасывателя (первый вариант модернизации)

Как следует из приведенного анализа, модернизация полуприцепа-распределителя по первому варианту потребует существенных затрат средств.

Проанализируем второй способ догрузки сцепного устройства трактора, когда распределяющие рабочие органы (битера) смонтированы в передней части кузова.



На рисунке 4 показана модель полуприцепа-разбрасывателя органических удобрений, с расположенными в передней части кузова распределяющими рабочими органами, что подразумевает подачу удобрений вперед, а не назад, то есть, как уже говорилось, освобождение кузова совершается с задней его части [14, 15].

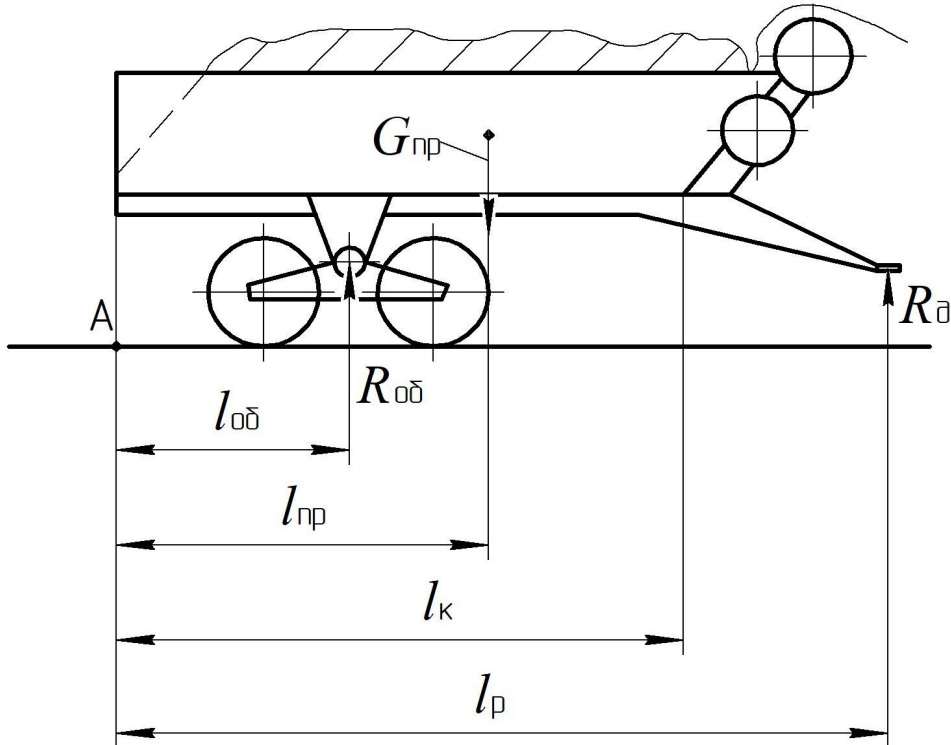


Рис. 4. Схема сил, действующих на полуприцеп-разбрасыватель при подаче органических удобрений к распределяющим рабочим органам, установленным вместо переднего борта кузова

Для получения зависимости изменения догружающего усилия на прицепное устройство трактора  $R_0$  от степени опорожнения кузова составим уравнения моментов сил, действующих на полуприцеп-разбрасыватель относительно точки А (рис. 5), оно имеет вид

$$R_0 = \frac{q \cdot \frac{l_k^2}{2} \cdot \lambda^2 + (q \cdot l_k \cdot l_{об} - q \cdot l_k^2) \cdot \lambda + G_{пр} (l_у - l_{об})}{(l_p - l_{об})}, \quad (13)$$

где  $q$  – удельный вес груза в кузове полуприцепа-распределителя, приходящийся на один метр его длины, кН/м;

$\lambda$  – степень опорожнения кузова;

$G_{пр}$  – вес пустого полуприцепа-распределителя, кН;

$l_k$  – длина кузова полуприцепа-распределителя, м;

$l_{об}$ ,  $l_у$ ,  $l_p$  – расстояние от точки А до точки действия соответственно: реакции опоры, центра тяжести и реакции со стороны прицепного устройства трактора, м.

Анализ зависимости (13) показывает, что догружающее прицепное устройство трактора сила имеет экстремальное значение.

Значение экстремального усилия на сцепное устройство трактора определяется согласно известной схеме, а именно:

- находится 1-я производная функции в соответствии со степенью разгрузки кузова  $\lambda$  и приравнивается нулю, устанавливается наилучшее ее значение  $\lambda^{opt}$ ,

- подставляется в полученное уже после дифференцирования уравнение значение  $\lambda^{opt}$  и находится максимальная величина догружающего усилия  $R_0^{max}$ .

Превышение догружающего усилия  $\Delta R_{\partial}$  над исходным  $R_{\partial}^u$  находится как разность

$$\Delta R_{\partial} = R_{\partial}^{\max} - R_{\partial}^u. \quad (14)$$

Проанализируем изменения реакции опоры на передние колеса трактора вследствие воздействия на него догружающего усилия со стороны полуприцепа-распределителя и крюкового усилия, зависящего от степени опорожнения кузова и угла склона. На рисунке 5 представлены силы, действующие на трактор со стороны полуприцепа-распределителя.

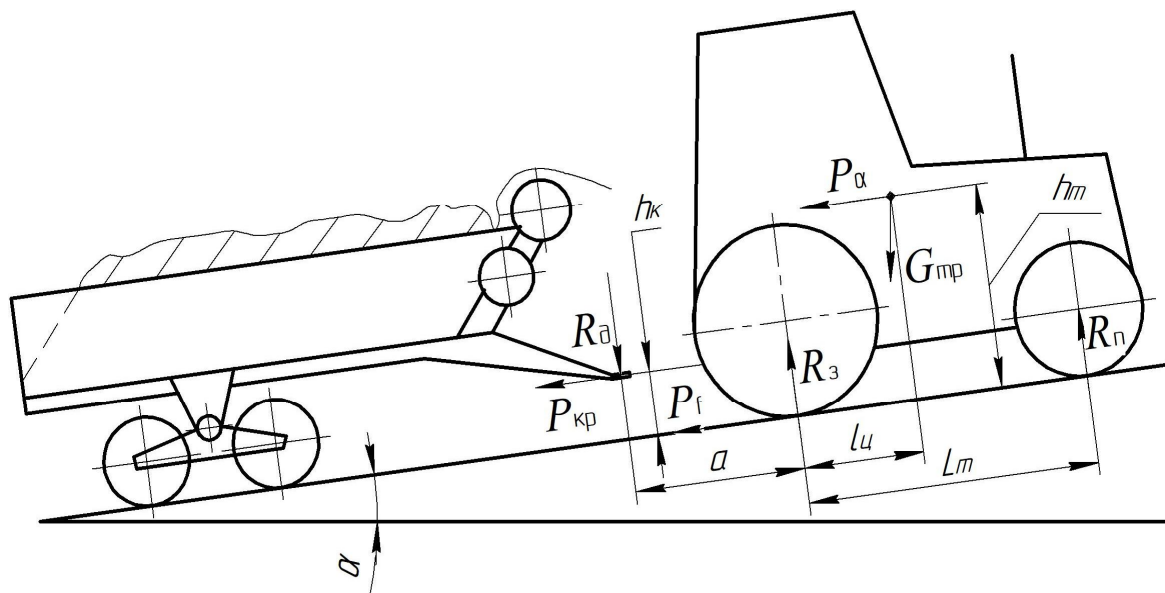


Рис. 5. Схема сил, действующих на прицепное устройство трактора со стороны полуприцепа-распределителя при движении на подъеме с постоянной скоростью

Уравнение моментов сил относительно точки А имеет следующий вид:

$$R_{\partial} \cdot a + P_{кр} \cdot h_{к} + P_{\alpha} \cdot h_{m} + R_{п} \cdot L_{m} = G_{мп} \cdot \cos \alpha \cdot l_{ц}. \quad (15)$$

Из равенства (15) находим реакцию опоры на передние колеса трактора

$$R_{п} = \frac{G_{мп} \cdot \cos \alpha \cdot l_{ц} - (R_{\partial} \cdot a + P_{кр} \cdot h_{к} + P_{\alpha} \cdot h_{m})}{L_{m}}, \quad (16)$$

где  $G_{мп}$  – вес трактора, кН;

$P_{кр}$  – сила сопротивления передвижению полуприцепа-распределителя, кН;

$P_{\alpha}$  – сила сопротивления подъема, кН;

$l_{ц}$  – горизонтальная координата центра тяжести трактора, м;

$h_{m}$  – вертикальная координата центра тяжести трактора, м;

$h_{к}$  – расстояние от опорной поверхности до прицепного устройства трактора, м;

$a$  – расстояние до точки присоединения полуприцепа-разбрасывателя к трактору, м.

В свою очередь, сила  $P_{кр}$  находится в зависимости от степени опорожнения кузова распределителя, а именно

$$P_{кр} = [G_{пр} - Q_{p}(1 - \lambda) - R_{\partial}] \cdot f, \quad (17)$$

$$P_{\alpha} = G_{mp} \cdot \sin \alpha , \quad (18)$$

где  $f$  – коэффициент сопротивления перекачиванию полуприцепа-распределителя;  
 $\alpha$  – угол склона.

Таким образом, сила, догружающая прицепное устройство трактора  $R_{\alpha}$ , представляет собой функцию степени опорожнения кузова полуприцепа-распределителя  $\lambda$ , угла склона поля  $\alpha$ , коэффициента сопротивления перекачиванию прицепа  $f$ .

В результате исследований было установлено, что нагрузка на переднюю ось трактора  $G_K > 0,2 G_{TP}$  располагается в допустимых границах при значении угла склона полей до  $4,2^{\circ}$  (в Центрально-Черноземном регионе поля с углом склона более  $4,2^{\circ}$  встречаются с вероятностью не более 16%). Помимо этого, использование модернизированного полуприцепа-разбрасывателя органических удобрений позволяет добиться снижения буксования на 0,523% и часового расхода топлива на 1,126 л/ч при осуществлении подачи удобрений от заднего борта к переднему.

Усовершенствование полуприцепного агрегата посредством использования предложенного тягово-сцепного устройства, выполненного на базе автоматической сцепки, дает возможность переместить догружающую трактор силу внутрь его базы на уровне опорной поверхности, что исключает разгрузку передних управляемых колес трактора и делает его грузонесущим. Предельными условиями увеличения грузоподъемности агрегата являются прочностные свойства каркаса трактора и несущая способность шин и мощность двигателя. Для трактора типа МТЗ-80 с мощностью двигателя 58 кВт при степени его загрузки 0,9 и углах склона до  $2^{\circ}$  грузоподъемность полуприцепа-разбрасывателя органических удобрений должна быть 80 кН, при этом рабочая скорость агрегата может достигать 10 км/ч.

Увеличить эффективность использования прицепных тракторных транспортных агрегатов можно за счет применения разработанного тягово-догрузочного устройства, которое обеспечивает перемещение доли веса прицепа на сцепное устройство трактора, что дает возможность увеличить тоннажность агрегата при номинальной величине 40 кН на 4,785 кН, причем тягово-догрузочное устройство преобразует силу сопротивления перемещения прицепа в догружающую сцепное устройство трактора, что позволяет снизить буксование движителей и сократить часовой расход топлива двигателем.

В процессе распределения удобрений полуприцепом-распределителем происходит постоянное изменение веса агрегата, что приводит к изменению догружающего усилия сцепного устройства трактора. Теоретически и экспериментально доказано, что при традиционной подаче органических удобрений в кузове, от переднего борта к заднему, где смонтированы шнеки, догружающее усилие сцепного устройства два раза не только достигает нулевого значения, но и уходит в отрицательную зону значений.

Смещение колесного хода полуприцепа-распределителя относительно рамы назад и дальнейший подъем передних колес позволяют, в какой-то мере, стабилизировать догружающее усилие на сцепное устройство трактора и сделать его более сбалансированным, но существенного снижения буксования и часового расхода топлива достичь нельзя. Поэтому предложен второй вариант модернизации полуприцепа-распределителя путем изменения подачи органических удобрений от заднего борта кузова к переднему, оснастив битера кожухом. Данное конструктивное решение позволяет гарантировать стабильную догрузку сцепного устройства трактора в процессе опорожнения кузова, уменьшить часовой расход топлива двигателем на 1,126 л/ч и снизить буксование на 0,523%, при этом нагрузка на переднюю ось находится в допустимых пределах для углов склона полей до  $4,2^{\circ}$ .

### Библиографический список

1. А. с. 1414662 СССР, МКИ<sup>3</sup> В 60 D 1/00. Сцепное устройство / А.Г. Аверков [и др.] ; заявитель и патентообладатель Специальное конструкторско-технологическое бюро Главмосинжстроя при Мосгорисполкоме. – № 4128473/30-11 ; заявл. 24.09.1986 ; опубл. 07.08.1988, Бюл. № 29. – 3 с.
2. Агеев Л.Е. Сверхмощные тракторы сельскохозяйственного назначения / Л.Е. Агеев, В.С. Шкрабак, В.Ю. Моргулис-Якушев. – Ленинград : Агропромиздат, 1986. – 120 с.
3. Антышев Н.М. Прогноз потребности и необходимой структуры тракторного парка / Н.М. Антышев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1993. – № 8. – С. 1–5.
4. Величкин И.Н. Разработка методики испытаний с учетом накопленного опыта / И.Н. Величкин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1999. – № 9. – С. 24–27.
5. Волощенко А.Е. Исследование и оценка транспортных агрегатов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / А.Е. Волощенко. – Воронеж, 1976. – 22 с.
6. Ворохобин А.В. Повышение эффективности использования тракторно-транспортного агрегата при корректировании вертикальных нагрузок на колеса : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / А.В. Ворохобин. – Воронеж, 2007. – 177 с.
7. Завалишин Ф.С. Исследования работы различных схем тракторного транспорта в труднопроходимых дорожных условиях / Ф.С. Завалишин, А.Е. Волощенко // Науч. тр. Воронежского с.-х. ин-та им. К.Д. Глинки. – 1974. – С. 11–15.
8. Захаржевский А.П. Совершенствование процесса высева многолетних трав под покровную культуру сошником на базе стрельчатой лапы : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / А.П. Захаржевский. – Воронеж, 2000. – 22 с.
9. Ксенович И.П. Об оптимальной массе трактора / И.П. Ксенович // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1988. – № 12. – С. 3–5.
10. Ксенович И.П. Тракторы МТЗ-80 и МТЗ-82 / И.П. Ксенович, С.С. Кустанович, П.Н. Степанюк. – Москва : Колос, 1983. – 254 с.
11. Лебедев А.С. Определение навесоспособности трактора / А.С. Лебедев, И.Б. Шишков // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1987. – № 12. – С. 25–26.
12. Мацнев М.Г. Грузоподъемность транспортного агрегата с трактором класса 14-20 кН разной компоновки / М.Г. Мацнев // Обоснование оптимальных параметров мобильной сельскохозяйственной техники : тр. Воронежского СХИ. – 1978. – С. 59–68.
13. Пат. 162350 Российская Федерация, МПК А 0 1С 15/18 (2006.01), В 62 D 63/06 (2006.01). Полуприцеп-разбрасыватель органических удобрений / В.И. Орбинский [и др.] ; заявитель и патентообладатель Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина. – № 2016100547/11 ; заявл. 11.01.2016 ; опубл. 10.06.2016, Бюл. № 16. – 2 с.
14. Пат. 2297938 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> В 62 D 53/04, В 60 D 1/00, А 01 В 59/04. Сцепное устройство для соединения колесного трактора с прицепом / В.П. Гребнев, В.И. Панин, А.В. Ворохобин (Россия) ; заявитель и патентообладатель Воронежский государственный аграрный университет им. К.Д. Глинки. – № 2005138232/11 ; заявл. 08.12.2005 ; опубл. 27.04.2007, Бюл. № 12. – 5 с.
15. Пат. 2096190 Российская Федерация, МПК В 60 D 1/00 (1995.01). Тягово-догрузочное устройство / Скурятин Н.Ф. [и др.] ; заявитель и патентообладатель Белгородская государственная сельскохозяйственная академия. – № 96115610/1 ; заявл. 26.07.1996 ; опубл. 20.11.1997, Бюл. № 32. – 5 с.
16. Петров Д.Г. МТА с активным приводом ходовых колес прицепной машины / Д.Г. Петров // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1988. – № 7. – С. 25–28.
17. Скурятин Н.Ф. Повышение грузоподъемности прицепного агрегата / Н.Ф. Скурятин, Е.В. Соловьев, А.В. Бондарев // Сельский механизатор. – 2014. – № 12. – С. 38–39.
18. Скурятин Н.Ф. Разработка методов оптимизации грузоподъемности разбрасывателей органических удобрений в связи с их унификацией : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Н.Ф. Скурятин. – Воронеж, 1977. – 22 с.

19. Скурятин Н.Ф. Тягово-догрузочное устройство к прицепу / Н.Ф. Скурятин, А.В. Бондарев, Е.В. Соловьев // Сельский механизатор. – 2013. – № 3. – С. 38–39.
20. Соловьев С.В. Стабилизация догрузки трактора со стороны полуприцепа-разбрасывателя органических удобрений : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / С.В. Соловьев. – Воронеж, 2017. – 139 с.
21. Тракторы Беларусь МТЗ-80, МТЗ-80Л, МТЗ-82, МТЗ-82Л. Руководство по эксплуатации и уходу. – Минск : Ураджай, 1973. – 265 с.
22. Тракторы Т-150К, Т-157, Т-158. Техническое описание и инструкция по эксплуатации / А.И. Иголкин [и др.]. – Харьков : ХТЗ, 1989. – 310 с.
23. Шпилько А.В. Создание техники нового поколения для растениеводства / А.В. Шпилько, В.М. Кряжков, Л.М. Пилюгин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1998. – № 3. – С. 3–4.
24. Чудаков Д.А. Основы теории и расчета трактора и автомобиля / Д.А. Чудаков. – Москва : Колос, 1972. – 384 с.
25. Эксплуатация тракторов МТЗ-100 и МТЗ-102 / П.А. Амельченко [и др.]. – Москва : Росагропромиздат, 1991. – 173 с.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Николай Филиппович Скурятин – доктор технических наук, профессор кафедры технического сервиса в АПК ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина», Российская Федерация, Белгородская обл., Белгородский р-н, п. Майский, e-mail: skurjatin\_nf@bsaa.edu.ru.

Владимир Иванович Оробинский – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, зав. кафедрой сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей, декан агроинженерного факультета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Российская Федерация, г. Воронеж, тел. 8(473) 224-39-39, e-mail: main@agroeng.vsau.ru.

Андрей Викторович Ворохобин – кандидат технических наук, доцент кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Российская Федерация, г. Воронеж, тел. 8(473) 224-39-39, e-mail: dogruzka@rambler.ru.

Евгений Владимирович Соловьев – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры технического сервиса в АПК ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина», Российская Федерация, Белгородская обл., Белгородский р-н, п. Майский, e-mail: solovyewwww@mail.ru.

Сергей Владимирович Соловьев – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры электрооборудования и электротехнологий в АПК ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина», Российская Федерация, Белгородская обл., Белгородский р-н, п. Майский, e-mail: ser-solovyev@mail.ru.

Борис Станиславович Зданович – кандидат технических наук, руководитель сервисной службы Белгородского филиала ООО «Юпитер 9», Российская Федерация, г. Белгород, e-mail: boris.zdanovich@jupiter9.ru.

Дата поступления в редакцию 24.08.2018

Дата принятия к печати 17.09.2018

### AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Nikolai F. Skuryatin – Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Dept. of Technological Service in Agro-Industrial Complex, Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin, Russian Federation, Belgorod Region, Belgorod Oblast, pos. Maiskiy, e-mail: skurjatin\_nf@bsaa.edu.ru.

Vladimir I. Orobinsky – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Dean of the Faculty of Rural Engineering, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russian Federation, Voronezh, tel. 8(473) 224-39-39, e-mail: main@agroeng.vsau.ru.

Andrey V. Vorokhobin – Candidate of Engineering Sciences, Docent the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russian Federation, Voronezh, tel. 8(473) 253-78-68, e-mail: dogruzka@rambler.ru.

Evgeniy V. Solovev – Candidate of Engineering Sciences, Senior Lecturer, the Dept. of Technological Service in Agro-Industrial Complex, Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin, Russian Federation, Belgorod Region, Belgorod Oblast, pos. Maiskiy, e-mail: solovyewwww@mail.ru.

Sergey V. Solovev – Candidate of Engineering Sciences, Senior Lecturer, the Dept. of Electrical Equipment and Electrical Technologies in Agro-Industrial Complex, Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin, Russian Federation, Belgorod Region, Belgorod Oblast, pos. Maiskiy, e-mail: ser-solovyev@mail.ru.

Boris S. Zdanovich – Candidate of Engineering Sciences, Head of the Service Division, ООО Jupiter 9, Belgorod Branch, Russian Federation, Belgorod, e-mail: boris.zdanovich@jupiter9.ru.

Received August 24, 2018

Accepted September 17, 2018