

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ ТЯГОВО-СЦЕПНОГО УСТРОЙСТВА ТРАКТОРА

Андрей Викторович Ворохобин

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Колесными универсально-пропашными тракторами выполняется большой объем транспортных работ. Эффективность тракторно-транспортных агрегатов недостаточно высока, прежде всего из-за низких тягово-сцепных свойств тракторов, особенно при работе по дорогам с низкой несущей способностью. Современные колесные тракторы оснащаются различными тягово-сцепными устройствами для агрегатирования с машинами и орудиями. Однако эти устройства не позволяют регулировать тягово-сцепные свойства трактора. Рассмотрена конструкция тягово-сцепного устройства плавающего типа, позволяющего автоматически регулировать тягово-сцепные свойства тракторно-транспортного агрегата. Приведены результаты теоретических исследований этого устройства при установившемся режиме движения транспортного агрегата, в режиме торможения, а также в режиме разгона. Рассматриваемое устройство позволяет регулировать сцепной вес трактора. Расчетным путем установлено, что при изменении угла наклона дышла прицепа по отношению к трактору от 0 до 40° сцепной вес трактора изменяется от 50 до 55 кН. Получены зависимости, свидетельствующие об эффективности применения рассматриваемого устройства в режиме торможения. Выявлено, что регулирование тягово-сцепных свойств позволяет изменять тормозную силу колес, что способствует улучшению оценочных показателей тормозных свойств. За счет снижения буксования ведущих колес трактора в начальный момент трогания и разгона тракторно-транспортного агрегата улучшаются его разгонные свойства. Кроме того, перенос части веса прицепа на трактор уменьшает общее тяговое сопротивление агрегата, что также улучшает разгонные свойства. Сделаны выводы о необходимости расширения функциональных возможностей тягово-сцепных устройств тракторов, прежде всего в направлении регулирования ими сцепных свойств агрегата в зависимости от дорожных условий и режимов работы. Теоретическая оценка эксплуатационных показателей тракторно-транспортного агрегата, оснащенного предлагаемой конструкцией тягово-сцепного устройства, показала, что производительность возрастает на 15%, а расход топлива уменьшается на 10%.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** тягово-сцепное устройство, трактор, прицеп, корректирование вертикальных нагрузок, догрузка, буксование, установившееся движение, торможение, разгон.

## RESULTS OF STUDIES OF AN IMPROVED DESIGN OF A TRACTOR DRAFT-TOWING ATTACHMENT

Andrey V. Vorokhobin

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

Universal wheeled tractors perform a large amount of transport work. The efficiency of tractor-transport units is not high enough primarily due to low draft-towing characteristics of tractors, especially when working on roads with low bearing capacity. Modern wheeled tractors are fitted with various draft-towing attachments for mounting various machines and tools. However, these devices do not allow adjusting draft-towing characteristics of a tractor. The author has considered the design of a floating-type tow unit that allows for automatic adjustment of draft-towing characteristics of the tractor-transport unit. The author presents the results of theoretical studies of this device in the steady-state mode of movement of the traffic unit, in the braking mode and acceleration mode. The device under study allows adjusting the adhesion weight of the tractor. The calculations proved that changing the angle of inclination of the trailer drawbar in relation to the tractor from 0 to 40° changes the adhesion weight of the tractor from 50 to 55 kN. The author has obtained the dependences expressing the efficiency of application of this device in the braking mode. It was revealed that the adjustment of draft-towing properties allowed changing the braking force of the wheels and this improved the evaluation parameters of braking properties. Reducing the slippage of the driving wheels of the tractor at the initial stage of moving and acceleration of the tractor-transport unit improves its acceleration properties. In addition, the partial transfer of weight of the trailer onto the tractor reduces the overall traction resistance of the unit, which also improves the acceleration properties. The author has made conclusions

about the necessity of increasing the functionality of draft-towing units of tractors primarily in the direction of their possible adjustment of draft properties of the unit depending on the driving conditions and modes of operation. Theoretical assessment of performance parameters of tractor-transport units equipped with the draft-towing unit of the proposed design showed an increase in productivity by 15% and a decrease in fuel consumption by 10%.

KEY WORDS: draft-towing unit, tractor, trailer, adjustment of vertical loads, additional load, slippage, steady movement, braking, acceleration.

### **В**ведение

В сельскохозяйственном производстве для перевозки грузов широко используются как автомобильный транспорт, так и тракторные прицепы и полуприцепы, а также технологические транспортные средства в виде разбрасывателей удобрений. Автомобильный транспорт в большей степени применяется для перевозок на дальние расстояния по хорошим дорогам. А тракторный транспорт в агрегате с прицепами, полуприцепами или в составе технологических агрегатов используется, как правило, на небольших расстояниях. Это в основном внутриусадебные, внутрихозяйственные и технологические перевозки, которые приходится осуществлять в резко меняющихся дорожных условиях. Данное обстоятельство вызывает необходимость применять повышенные требования к тракторному транспорту, прежде всего в области проходимости [12].

По данным ряда исследователей, в составе тракторно-транспортных агрегатов (ТТА) в большей степени (до 60% времени) задействованы колесные универсально-пропашные тракторы [1, 4]. Известно, что одним из недостатков этих тракторов является повышенное буксование ведущих колес, что приводит к снижению загрузки тракторных двигателей по мощности, а это, в свою очередь, вызывает необходимость ограничивать грузоподъемность агрегируемых с трактором прицепов и приводит к снижению производительности ТТА [1, 3, 4]. Кроме того, установлено, что в процессе эксплуатации тракторных агрегатов из-за многообразия возможных условий и режимов работы целесообразно регулировать эксплуатационный вес трактора [6].

Существуют различные способы повышения тягово-сцепных свойств сельскохозяйственных тракторов: применение балласта, различных грунтозацепов, уширителей колеса, полугусеничного хода [2, 5, 9, 11]. Однако объединяющим недостатком для всех перечисленных способов являются большие затраты на монтажные работы, ограничение возможностей в перемещении по дорогам общего пользования, а также невозможность автоматизации [3, 4]. Известны конструкции тягово-догружающих устройств, которые для повышения тягово-сцепных свойств колесных тракторов позволяют вовлекать в работу агрегируемый прицеп или прицепную машину [3, 4]. Однако и эти конструкции имеют определенные недостатки, которые не позволяют достигать желаемого эффекта.

Современные колесные сельскохозяйственные тракторы для агрегирования с прицепами, полуприцепами или полуприцепными сельскохозяйственными машинами оснащаются различными тягово-сцепными устройствами (ТСУ). Функциональные возможности этих устройств весьма ограничены и заключаются только в обеспечении функции соединения трактора с прицепом и тяги [3]. При этом силового воздействия от прицепа на трактор эти устройства не обеспечивают. За исключением гидрофицированного крюка, который используется для агрегирования полуприцепов и этим обеспечивается догрузка задних ведущих колес трактора частью веса полуприцепа. Однако такая догрузка не является регулируемой, что ограничивает возможности ее применения.

Целью работы является исследование возможностей усовершенствованной конструкции тягово-сцепного устройства трактора, позволяющего регулировать его тягово-сцепные свойства.

**Материалы и методы**

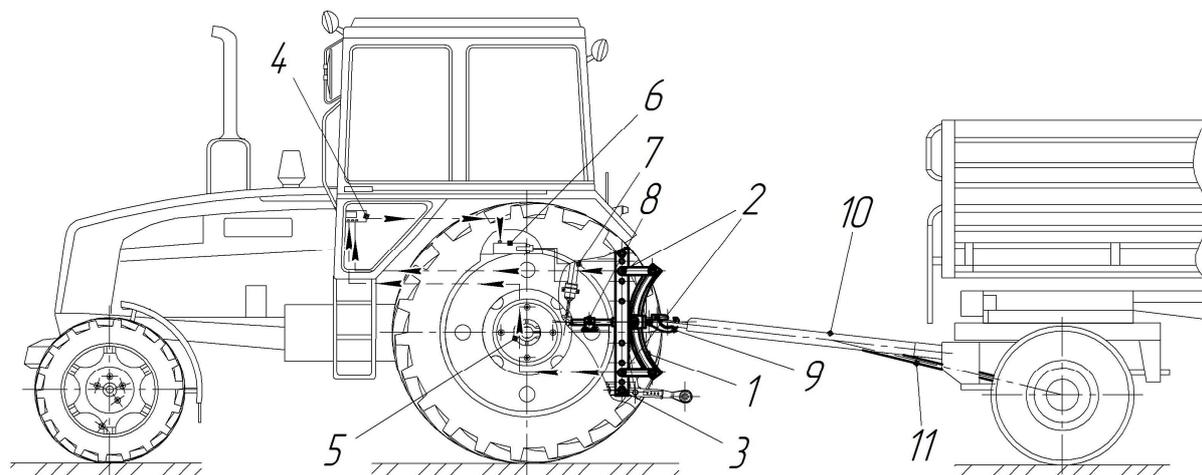
Анализ различных конструкций современных ТСУ показал их многообразие, которое определяется прежде всего конструктивными особенностями и назначением трактора. С целью расширения функциональных возможностей ТСУ и определения направлений их модернизации сформулируем основные требования, которые должны применяться к конструкциям современных тягово-сцепных устройств.

Во-первых, тягово-сцепное устройство должно обеспечивать не только функцию тяги, но и функцию регулируемой догрузки ведущих колес трактора (регулирование тягово-сцепных свойств в зависимости от дорожных условий).

Во-вторых, процесс регулирования тягово-сцепных свойств трактора при использовании ТСУ должен быть автоматизирован и интегрирован в работу бортовых электронных систем управления трактором.

В-третьих, конструкция ТСУ должна быть проста и универсальна.

На основании многолетних исследований, проводимых сотрудниками кафедры тракторов и автомобилей Воронежского ГАУ, с учетом основных недостатков, выявленных при анализе существующих схем, нами предлагается принципиально новое тягово-сцепное устройство для колесных сельскохозяйственных тракторов, схема которого приведена на рисунке 1. На данную конструкцию получен патент РФ на изобретение [8].



**Рис. 1. Тягово-сцепное устройство плавающего типа:**

- 1 – направляющая; 2 – силовые датчики тяговой нагрузки; 3 – вертикальный брус навески трактора;
- 4 – электронный блок управления; 5 – датчик буксования; 6 – электрогидрораспределитель;
- 7 – гидроцилиндр двухстороннего действия; 8 – рычажно-выдвижной механизм; 9 – тяговый крюк;
- 10 – дышло прицепа; 11 – ограничитель вертикального перемещения

В статическом положении тракторно-транспортного агрегата дышло прицепа 10 находится в горизонтальном положении, и ведущие колеса трактора воспринимают только его вес. При этом силовые датчики тяговой нагрузки 2 настраиваются по уровню чувствительности и согласуются с работой датчиков буксования 5 ведущих колес трактора. При тяговом режиме усилие, передаваемое прицепом, фиксируется датчиками тяговой нагрузки 2, сигнал с которых передается на электронный блок управления 4, где происходит его сравнение с сигналом, поступающим от датчиков буксования 5 ведущих колес.

При появлении буксования ведущих колес выше допустимого уровня усилие, воспринимаемое датчиками тяговой нагрузки 2, увеличивается, при этом в электронном блоке управления 4 возникает сигнал рассогласования. В результате этого электронный блок управления 4 дает команду электрогидрораспределителю 6 и тот, в свою очередь, направляет поток масла в полость гидроцилиндра двухстороннего действия 7.



Определим вес, приходящийся на задние  $G_{mp.z}$  и передние  $G_{mp.n}$  колеса трактора, а также на передние  $G_{np.n}$  и задние  $G_{np.z}$  колеса прицепа. Для этого составим уравнения моментов сил, действующих на рассматриваемый ТТА (рис. 2), для определения вертикальных реакций почвы на задние колеса трактора и передние колеса прицепа. С учетом того, что действие равно противодействию, искомые выражения в окончательном виде выглядят следующим образом:

$$G_{mp.z} = \frac{G_{mp} \cdot (L_{mp} - a_{mp}) + P_{кр} \cdot (\sin \alpha \cdot (L_{mp} + l_{кр}) + \cos \alpha \cdot h_{кр}) - P_{j.mp} \cdot h_{mp} + M_f}{L_{mp}}; \quad (1)$$

$$G_{np.n} = \frac{G_{np} \cdot a_{np} - P_{кр} \cdot (\sin \alpha \cdot L_{np} - \cos \alpha \cdot l_{m.n.}) + P_{j.np} \cdot h_{np} - M_f}{L_{np}}; \quad (2)$$

$$G_{mp.n} = \frac{G_{mp} \cdot a_{mp} - P_{кр} \cdot (\sin \alpha \cdot l_{np} + \cos \alpha \cdot h_{кр}) + P_{j.mp} \cdot h_{mp} - M_f}{L_{mp}}; \quad (3)$$

$$G_{np.z} = \frac{G_{np} \cdot a_{np} - P_{кр} \cdot \cos \alpha \cdot l_{m.n.} - P_{j.np} \cdot h_{np} + M_f}{L_{np}}. \quad (4)$$

Решение выражений 1-4 приведено на рисунке 3 в виде зависимости вертикальных нагрузок на передние колеса прицепа и на задние колеса трактора, а также суммарного веса трактора и прицепа от угла наклона дышла прицепа.

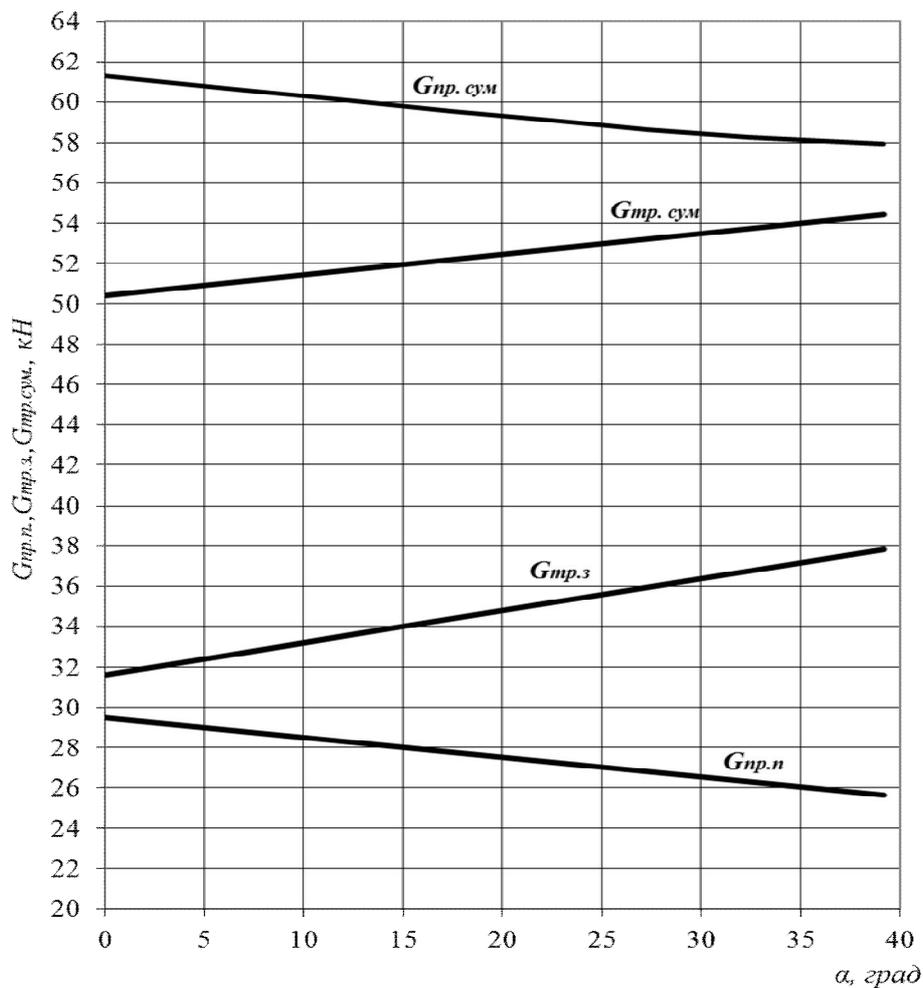


Рис. 3. Зависимости вертикальных нагрузок на передние колеса прицепа и на задние колеса трактора, а также суммарного веса трактора и прицепа от угла наклона дышла прицепа

При построении рисунка 3 суммарный вес трактора и прицепа определяли как сумму весов, приходящихся на их задние и передние колеса, определенные соответственно по выражениям 1-4.

Из зависимости, представленной на рисунке 3, видно, что с увеличением угла наклона дышла прицепа посредством тягово-сцепного устройства плавающего типа передние колеса прицепа  $G_{np.n}$  разгружаются, а задние колеса трактора  $G_{mp.z}$  догружаются, при этом наблюдается рост эксплуатационного веса  $G_{mp.сум}$  трактора в целом.

Так, получено, что при увеличении угла наклона дышла прицепа от 0 до 40 градусов нагрузка на передних колесах прицепа снижается с 29,5 до 25 кН, при этом нагрузка на задних колесах трактора увеличивается с 31 до 38 кН. При этом суммарный эксплуатационный вес трактора также возрастает с 50 до 55 кН. Расчет проводился на примере трактора Беларус тягового класса 2 в агрегате с двухосным прицепом весом 61 кН.

Что касается ограничивающих факторов в догрузке ведущих колес трактора (управляемость передних колес трактора и допустимая нагрузка на задние колеса трактора), то превышения допустимых нагрузок не наблюдалось.

Таким образом, приведенные результаты показывают, что оснащение тракторно-транспортного агрегата тягово-сцепным устройством плавающего типа позволяет обеспечить регулируемое корректирование вертикальных нагрузок на колеса агрегата (другими словами, обеспечить регулирование тягово-сцепных свойств).

В процессе движения ТТА немалую долю времени занимают неустановившиеся режимы движения. К ним относят режим торможения и разгона.

Потребность в торможении ТТА может возникнуть в разных случаях: при необходимости снизить скорость движения или остановить агрегат; когда нужно предотвратить повышение скорости при движении на спусках; чтобы удержать агрегат в неподвижном положении на стоянке. От эффективности торможения зависят два важных качества ТТА: безопасность и производительность.

При торможении ТТА перераспределение вертикальных нагрузок на колеса трактора и прицепа за счет работы тягово-сцепного устройства плавающего типа зави-

сит, кроме действия тягового сопротивления, от сил инерции  $P_{j_{mp}} = \frac{G_{mp}}{g} \cdot j_{mp} \cdot \delta'_{ep}$  и

$P_{j_{np}} = \frac{G_{np}}{g} \cdot j_{np} \cdot \delta''_{ep}$ , причем по сравнению с работой без догрузки задних колес тра-

ктора сила инерции прицепа уменьшается на величину  $\frac{\Delta G_{np}}{g} \cdot j_{np} \cdot \delta''_{ep}$ , а сила инерции

трактора увеличивается на величину  $\frac{\Delta G_{mp}}{g} \cdot j_{mp} \cdot \delta'_{ep}$  (рис. 2).

Известно [7, 10], что наиболее рационален при торможении вариант  $P_{кр} = 0$ , из двух других вариантов для исключения наезда прицепа на трактор более предпочтителен вариант  $P_{кр} > 0$ , т.е. когда в тягово-сцепном устройстве действует растягивающее суммарное усилие, чем  $P_{кр} < 0$ , когда в тягово-сцепном устройстве действует суммарное сжимающее усилие.

Применительно к схеме сил, представленной на рисунке 2, дифференциальные уравнения движения при торможении отдельно для трактора и прицепа имеют следующий вид:

$$\frac{G_{mp}}{g} \cdot j_{mp} = -P_{m.mp} - P_{кр}, \quad (5)$$

$$\frac{G_{np}}{g} \cdot j_{np} = -P_{m.np} + P_{кр}, \quad (6)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения;

$P_{m.np}, P_{m.np}$  – соответственно тормозные силы трактора и прицепа;

$P_{кр}$  – тяговое сопротивление прицепа при торможении.

При выводе уравнений 5 и 6 сила сопротивления воздуха не учитывалась, из-за низкой скорости при торможении тракторного агрегата, а также принята равной нулю сила сопротивления качению, из-за медленного вращения колес.

Если принять, что тягово-сцепное устройство не имеет зазоров, то  $j_{mp} = j_{np}$ . Исходя из этого можно приравнять правые части выражений 5 и 6. При условии, что величина тормозной силы ограничивается сцеплением тормозимых колес с почвой, получили следующее выражение для определения тягового сопротивления прицепа при торможении:

$$P_{кр} = \frac{(\lambda_{mp} - \lambda_{np}) \cdot \varphi_{m.исп} \cdot G_{mp}}{\gamma_K + 1}, \quad (7)$$

где  $\lambda_{mp}$  и  $\lambda_{np}$  – соответственно коэффициенты, выражающие соотношение между весом, приходящимся на тормозимые колеса трактора и прицепа, и общим весом трактора и прицепа ( $\lambda_{mp} = \frac{G_{mp.z}}{G_{mp}}$ ;  $\lambda_{np} = \frac{G_{np.n}}{G_{np}}$ );

$\varphi_{m.исп}$  – коэффициент использования веса, приходящегося на тормозимые колеса трактора;

$\gamma_K$  – коэффициент, характеризующий степень корректирования вертикальных нагрузок ( $\gamma_K = \frac{G_{mp}}{G_{np}}$ ).

Зависимость коэффициентов  $\lambda_{mp}$  и  $\lambda_{np}$  от степени корректирования  $\gamma_K$  при разной интенсивности торможения представлена на рисунке 4.

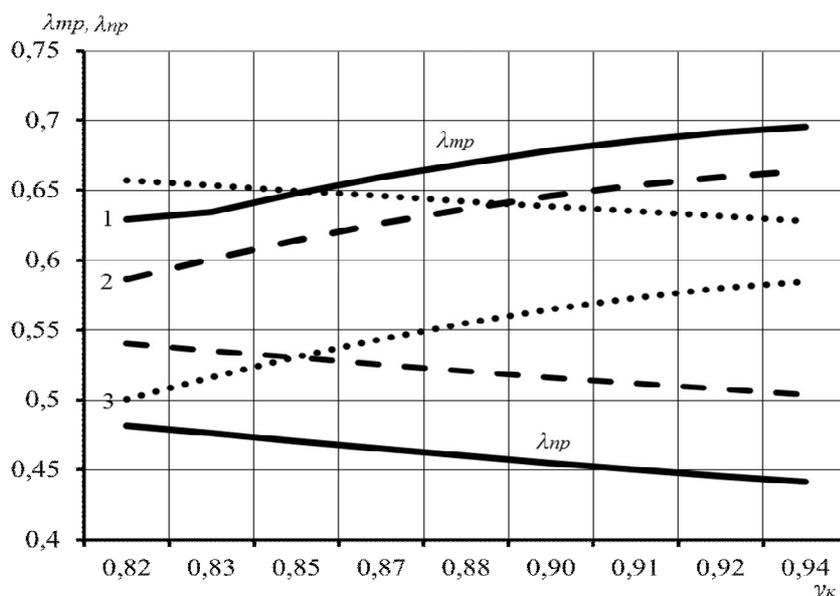


Рис. 4. Зависимость коэффициентов  $\lambda_{mp}, \lambda_{np}$  при торможении от коэффициента  $\gamma_K$ :

$$1 - j_{mp} = 0 \text{ м/с}^2; 2 - j_{mp} = 1 \text{ м/с}^2; 3 - j_{mp} = 3 \text{ м/с}^2$$

На рисунке 4 видно, что повышение степени корректирования вертикальных нагрузок на колеса приводит к увеличению коэффициента  $\lambda_{mp}$  и уменьшению  $\lambda_{np}$ . Увеличение  $\lambda_{mp}$  будет способствовать повышению сцепления задних колес трактора с почвой при торможении.

На рисунке 5 представлена зависимость изменения тормозной силы колес трактора и прицепа при разном замедлении в функции от коэффициента, характеризующего степень корректирования вертикальных нагрузок.

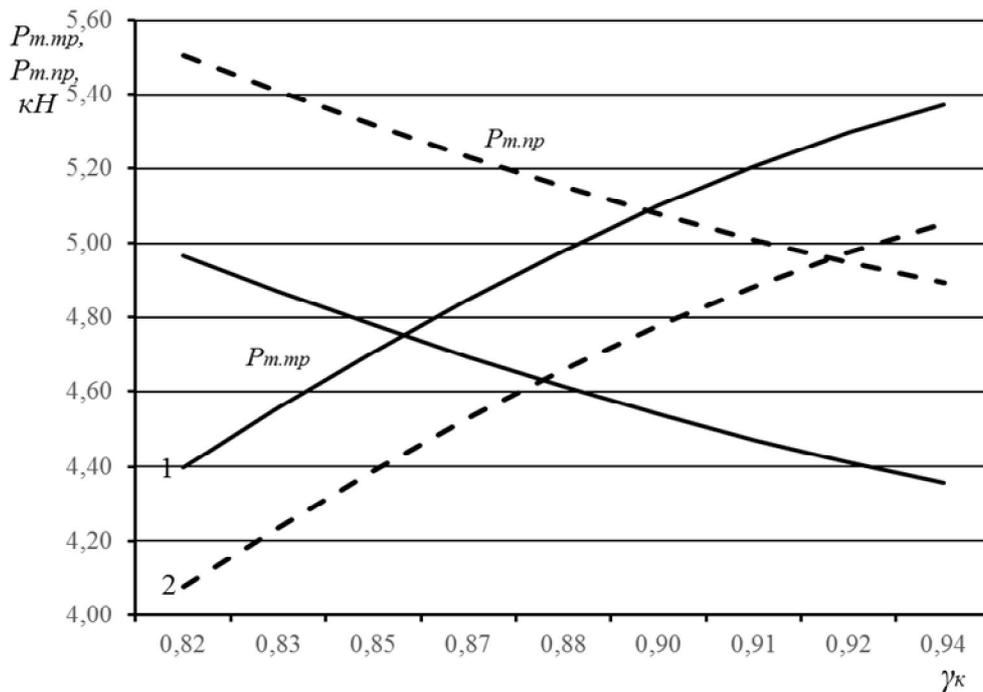


Рис. 5. Зависимость тормозных сил трактора и прицепа  $P_{т.тр}, P_{т.пр}$  от коэффициента  $\gamma_k$  :

$$1 - \dot{J}_{mp} = 1 \text{ м/с}^2; 2 - \dot{J}_{mp} = 3 \text{ м/с}^2$$

Из представленной зависимости видно, что при увеличении степени корректирования вертикальных нагрузок тормозная сила колес трактора увеличивается, а у колес прицепа снижается. При этом тормозная сила колес прицепа по величине больше, чем у колес трактора, т.к. вес прицепа больше веса трактора. С учетом переноса части веса с колес прицепа на колеса трактора, в процессе корректирования вертикальных нагрузок, наступает момент, когда  $P_{т.тр} > P_{т.пр}$ .

С учетом того, что в процессе корректирования вертикальных нагрузок вес прицепа уменьшается, соответственно уменьшается инерционная составляющая, что снижает вероятность накатывания прицепа на трактор.

Таким образом, результаты теоретических исследований показывают, что следует ожидать эффекта в улучшении оценочных показателей тормозных свойств тракторно-транспортных агрегатов при корректировании вертикальных нагрузок на колеса с использованием тягово-сцепного устройства плавающего типа.

Одним из важнейших динамических свойств трактора является возможность его трогания и быстрого разгона, особенно при агрегатировании с сельскохозяйственными машинами.

При разгоне накапливается кинетическая энергия МТА, равная

$$E = m_a \frac{V_{уст}^2}{2} \delta_{вр}, \quad (8)$$

где  $m_a$  – масса агрегата;

$V_{уст}$  – установившаяся после разгона скорость движения;

$\delta_{вр}$  – коэффициент учета вращающихся масс агрегата.

При разгоне имеет место ускоренное движение, линейное ускорение  $\frac{dV}{dt}$  ( $V$  – скорость движения) определяют из следующего дифференциального уравнения [10]:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{P_{\kappa} - P_c}{m_a \delta_{вр}} = \frac{\frac{M_{\delta} i_{mp} \eta_{mp}}{r_{\kappa}} - (P_{\kappa p} + P_f)}{m_a \delta_{вр}}, \quad (9)$$

где  $M_{\delta}$  – крутящий момент двигателя;

$P_{\kappa}$  – касательная сила тяги;

$P_c$  – суммарное сопротивление движению, равное при горизонтальном состоянии дороги или поля усилию на крюке трактора  $P_{\kappa p}$  и усилию на его перекатывание  $P_f$ ;

$i_{mp}$  – передаточное число трансмиссии;

$\eta_{mp}$  – КПД, учитывающий потери в трансмиссии;

$r_{\kappa}$  – радиус качения ведущих колес.

Выражение 9 показывает, что интенсивность разгона зависит от тяговых возможностей двигателя (момент  $M_{\delta}$ ), передаточного числа трансмиссии, сопротивлений ( $P_{\kappa p} + P_f$ ) и от массы агрегата.

Используя многомассовую динамическую модель, эквивалентную разгоняемому тракторному агрегату, описание которой приведено в работе [10], и с учетом применения на тракторе тягово-сцепного устройства плавающего типа получили выражение для определения времени разгона

$$t_p = \frac{I_a}{(1-\delta) \cdot M_n} \cdot \left[ \frac{\omega_{\min} \cdot \ln \frac{\omega_{\min}}{\omega_0}}{\beta - K_3} + \frac{2 \cdot (\omega_y - \omega_{\min})}{K - K_3} \right], \quad (10)$$

где  $t_p$  – время разгона;

$I_a$  – приведенный момент инерции;

$\delta$  – буксование основных ведущих колес трактора;

$M_n$  – номинальный крутящий момент;

$\omega_{\min}$  – минимальная угловая скорость вращения коленчатого вала двигателя;

$\omega_0$  – угловая скорость вращения коленчатого вала при трогании трактора;

$\omega_y$  – установившаяся угловая скорость вращения коленчатого вала;

$\beta$  – коэффициент запаса сцепления;

$K_3$  – коэффициент загрузки двигателя;

$K$  – коэффициент приспособляемости двигателя по крутящему моменту.

На приведенном графике изменения времени разгона ТТА (рис. 6) видно, что увеличение сцепного веса трактора за счет применения тягово-сцепного устройства плавающего типа ведет к снижению времени разгона. Это объясняется тем, что снижение буксования ведущих колес трактора за счет переноса части веса с агрегируемого с ним прицепа обеспечивает накопление большей кинетической энергии при разгоне в трудных по проходимости дорожных условиях. Кроме того, перенос части веса с прицепа на трактор снижает общее тяговое сопротивление агрегата, что также способствует снижению времени разгона.

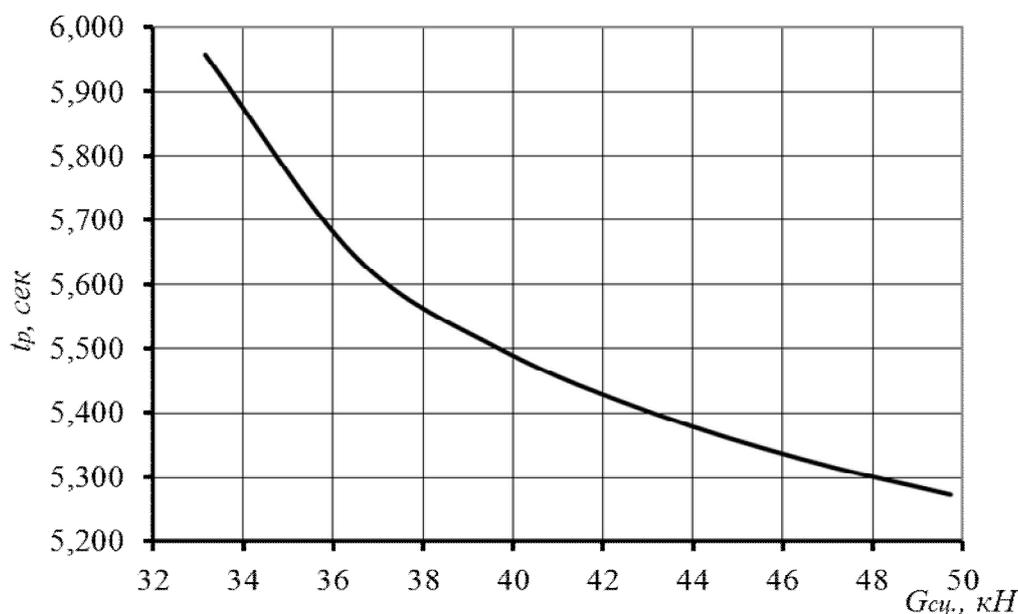


Рис. 6. Изменение времени разгона при разном сцепном весе трактора

### Выводы

Проведенные исследования показали, что совершенствование конструкций тягово-сцепных устройств является актуальным направлением. Серийные конструкции ТСУ уже не отвечают требованиям, предъявляемым к современным тракторам. Функциональные возможности ТСУ современного трактора должны обязательно предусматривать возможность автоматического регулирования тягово-сцепных свойств, вовлекая в этот процесс вес агрегируемой машины.

Предложенная конструкция тягово-сцепного устройства плавающего типа позволяет в автоматическом режиме осуществлять регулирование тягово-сцепных свойств трактора при агрегатировании им прицепа. Причем такое регулирование осуществляется в зависимости от почвенно-климатических условий, а также от режимов движения ТТА.

Теоретическими исследованиями обоснована эффективность применения тягово-сцепного устройства плавающего типа как при установившемся режиме движения, так и в режимах разгона и торможения.

Теоретическая оценка изменения эксплуатационных показателей тракторно-транспортного агрегата при работе с использованием тягово-сцепного устройства плавающего типа показала, что за счет регулирования тягово-сцепных свойств агрегата производительность возрастает на 15%, а топливная экономичность – на 10%. Дальнейшие экспериментальные исследования позволят дать более полную картину эффективности усовершенствования конструкций тягово-сцепных устройств современных тракторов и возможностей регулирования ими тягово-сцепных свойств агрегата.

---

### Библиографический список

1. Бочаров А.В. Повышение тягово-сцепных свойств прицепного транспортного агрегата за счет автоматической гидродогрузки задних колес трактора : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / А.В. Бочаров. – Воронеж, 2000. – 146 с.
2. Геращенко В.В. Устройство для регулирования сцепного веса трактора / В.В. Геращенко // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2002. – № 5. – С. 15-17.
3. Гребнев В.П. Совершенствование тягово-сцепных устройств сельскохозяйственных тракторов / В.П. Гребнев, А.В. Ворохобин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2010. – № 10. – С. 3-5.
4. Гребнев В.П. Эффективность корректирования вертикальных нагрузок на колеса тракторного транспортного агрегата / В.П. Гребнев, А.В. Бочаров // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2001. – № 7. – С. 5-7.
5. Климанов А.В. Улучшение тягово-сцепных и агротехнических свойств тракторов : учеб. пособие / А.В. Климанов. – Самара, 2001. – 71 с.
6. Ксенович И.П. Об оптимальной массе трактора / И.П. Ксенович // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1988. – № 12. – С. 5-8.
7. Кутьков Г.М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства / Г.М. Кутьков. – Москва : ИНФРА, 2014. – 506 с.
8. Пат. 2584643 РФ, МКИ<sup>3</sup> В 60 D 1/00, В60В 39/00, В62 D 53/04. Тягово-сцепное устройство плавающего типа / В.П. Гребнев, А.В. Ворохобин, В.Д. Бурдыкин, А.В. Подстрешный, О.В. Лещева. – № 2015105612/11; заявл. 18.02.2015; опубл. 20.05.2016, Бюл. № 14. – 7 с.
9. Повышение тягово-сцепных свойств колесных машин / Ю.Г. Горшков, А.В. Богданов, Ю.И. Аверьянов и др. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2004. – № 12. – С. 20-22.
10. Скотников В.А. Основы теории и расчета трактора и автомобиля / В.А. Скотников, А.А. Машенский, А.С. Солонский ; под. ред. В.А. Скотникова. – Москва : Агропромиздат, 1986. – 383 с.
11. Ходовые системы тракторов / В.М. Забродский, А.М. Файнлейб, Л.Н. Кутин, О.Л. Уткин-Любовцов. – Москва : Агропромиздат, 1986. – 271 с.
12. Шилова Е.П. Внутрихозяйственный транспорт / Е.П. Шилова // Сельский механизатор. – 2012. – № 3. – С. 36-38.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

#### Принадлежность к организации

Андрей Викторович Ворохобин – кандидат технических наук, доцент кафедры тракторов и автомобилей, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Российская Федерация, г. Воронеж, тел. 8(473) 253-78-68, E-mail: dogruzka@rambler.ru.

Дата поступления в редакцию 18.10.2016

Дата принятия к печати 27.11.2016

### AUTHOR CREDENTIALS

#### Affiliations

Andrey V. Vorokhobin – Candidate of Engineering Sciences, Docent the Dept. of 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.

Date of receipt 18.10.2016

Date of admittance 27.11.2016