

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРАКТОРНО-ТРАНСПОРТНОГО АГРЕГАТА ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ ТЯГОВО-СЦЕПНЫХ СВОЙСТВ

Андрей Викторович Ворохобин

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Проблема повышения эффективности использования тракторно-транспортных агрегатов (ТТА) остается актуальной, т.к. транспортные затраты являются четвертой по величине составляющей себестоимости продукции производства. Эксплуатационные показатели работы ТТА резко снижаются при движении по дорогам с низкой несущей способностью в связи с тем, что серийные конструкции тягово-сцепных устройств современных сельскохозяйственных тракторов в основном выполняют только функцию тяги и не имеют возможности изменять сцепные свойства трактора. В статье приведены результаты экспериментальной оценки (стендовые и дорожные испытания) эксплуатационных свойств ТТА при использовании тягово-сцепного устройства плавающего типа, особенностью которого является возможность регулировать тягово-сцепные свойства в процессе работы ТТА (конструкция тягово-сцепного устройства плавающего типа и результаты теоретических исследований были описаны автором ранее). Стендовыми испытаниями установлено, что при увеличении угла наклона дышла прицепа нагрузка на передних колесах прицепа снижается с 32 до 28 кН, а на задних колесах трактора увеличивается с 32 до 40 кН. При этом суммарный эксплуатационный вес трактора возрастает с 52 до 57 кН. Дорожные испытания показали, что буксование ведущих колес трактора снизилось на песке с 32,4 до 17,8% и на грунтовой дороге после дождя – с 26,6 до 16,4%; производительность на грунтовой дороге после дождя и на песке увеличилась соответственно на 16 и 23%, а удельный расход топлива снизился соответственно на 18 и 25%. На почвенном фоне с высоким коэффициентом сцепления (сухая грунтовая дорога) регулирование тягово-сцепных свойств не давало заметного положительного эффекта.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: трактор, тягово-сцепное устройство, прицеп, тягово-сцепные свойства, буксование, производительность, удельный расход топлива.

## EXPERIMENTAL EVALUATION OF OPERATIONAL INDICATORS OF A TRACTOR-TRANSPORT UNIT WITH THE ADJUSTMENT OF TRACTION AND COUPLING PROPERTIES

Andrey V. Vorokhobin

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

The problem of increasing the efficiency of use of tractor-transport units (TTU) remains urgent, because transport costs are the fourth largest component of the cost of production. The operational performance characteristics of TTUs are drastically reduced when driving on roads with a low bearing capacity due to the fact that the serial designs of traction couplings of modern agricultural tractors basically perform only the traction function and have no ability to change the coupling properties of the tractor. The article presents the results of an experimental evaluation (bench and road tests) of TTU performance characteristics when using a floating-type towing and coupling device, the feature of which is the ability to adjust the traction and coupling properties during the operation of the TTU (the design of the floating-type towing and coupling device and the results of theoretical studies were described earlier by the author). Bench tests showed that when the tilt angle of the trailer drawbar is increased, the load on the front wheels of the trailer decreases from 32 to 28 kN and increases from 32 to 40 kN on the rear wheels of the tractor. In this case, the total operational weight of the tractor increases from 52 to 57 kN. Road tests showed that the slippage of the tractor's driving wheels was decreased from 32.4 to 17.8% on the sand and from 26.6 to 16.4% on a natural soil road after the rain. The productivity on the natural soil road after the rain and on the sand increased by 16 and 23%, respectively; specific fuel consumption decreased by 18 and 25%, respectively. On the soil background with a high adhesion coefficient (a dry natural soil road) the adjustment of traction and coupling properties had no noticeable positive effect.

KEY WORDS: tractor, trailer coupling, trailer, traction and coupling properties, slippage, performance, specific fuel consumption.

### **В**ведение

В сельскохозяйственном производстве для перевозки грузов широко используются как автомобильный транспорт, так и тракторные прицепы и полуприцепы, а также различные тракторно-транспортные агрегаты. Транспортные работы выполняются большей частью колесными тракторами, при этом доля таких работ составляет 50 и более процентов годовой занятости тракторов.

В основном тракторные перевозки выполняются в пределах хозяйства по грунтовым и полевым дорогам, качество которых в период повышенной влажности почвы резко ухудшается. Эффективность тракторно-транспортных агрегатов (ТТА) в этих условиях резко снижается, прежде всего из-за невозможности полностью реализовывать сцепные свойства тракторов.

Одно из направлений повышения тягово-сцепных свойств тракторов основано на увеличении их сцепного веса. Применительно к работе тракторов с навесными машинами проблема увеличения сцепного веса за счет использования гидроувеличителя сцепного веса (ГСВ) и позиционно-силового регулятора (ПСР) навески изучена достаточно полно. Эти устройства обеспечивают регулирование сцепного веса трактора корректированием нагрузок на опорных элементах навесной машины и передних колесах трактора. Применительно к работе тракторов с прицепами и другими прицепными машинами эта проблема хотя и решалась [1, 3, 4, 5, 6, 7, 11], но недостаточно полно.

Современные колесные универсально-пропашные тракторы для агрегатирования с прицепами и прицепными машинами оснащаются различными тягово-сцепными устройствами (ТСУ). Это тяговая вилка, позволяющая агрегатировать тракторы с двухосными прицепами и прицепными машинами; гидрофицированный крюк, позволяющий присоединять к трактору полуприцепы; буксирное устройство, которое обеспечивает выполнение транспортных работ на повышенных скоростях. Кроме того, помимо перечисленных ТСУ многие тракторы как отечественного, так и зарубежного производства оснащаются усовершенствованными конструкциями сцепных устройств, способствующими улучшению показателей агрегатирования. Например, трактор Беларус-1523 оснащается универсальным тягово-сцепным устройством лифтового типа, которое позволяет присоединять к трактору полуприцепы, двухосные прицепы, прицепные и полуприцепные сельскохозяйственные машины. Это устройство включает в себя буксирную вилку, предназначенную для работы с двухосными прицепами; тяговую вилку, предназначенную для работы с одноосными прицепами и полуприцепными сельскохозяйственными машинами; тяговый брус, предназначенный для присоединения к трактору тяжелых прицепных и полуприцепных сельскохозяйственных машин, и устройство типа «Питон», которое устанавливается вместо тягового бруса и предназначено для присоединения к трактору одноосных прицепов и полуприцепных сельскохозяйственных машин [9].

Практически все устройства, которые обеспечивают возможность агрегатирования трактора с различными прицепными и полуприцепными машинами, имеют один очень существенный недостаток – невозможность регулирования тягово-сцепных свойств. Несмотря на то что многие исследователи отмечали необходимость регулирования сцепного веса трактора (И.П. Ксенович [8]), практически все серийные конструкции ТСУ выполняют только тяговую функцию и весьма мало влияют на сцепной вес тракторов. Это обстоятельство снижает эффективность использования ТТА, особенно при эксплуатации в условиях повышенного буксования колес.

Сотрудниками кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей Воронежского государственного аграрного университета им. императора Петра I предпринята попытка решить данную проблему, а именно: предложена и запатентована конструк-

ция тягово-цепного устройства плавающего типа [10], которая позволяет осуществлять регулирование тягово-цепных свойств тракторно-транспортного агрегата. Результаты теоретических исследований возможностей этого тягово-цепного устройства плавающего типа достаточно подробно описаны автором ранее [2].

Целью проведенных исследований являлась экспериментальная оценка эксплуатационных свойств тракторно-транспортного агрегата, оснащенного опытной конструкцией тягово-цепного устройства, особенностью которой является возможность регулирования тягово-цепных свойств.

#### Методика исследований

На основании результатов теоретических исследований эффективности использования тягово-цепного устройства плавающего типа, опубликованных в работе [2], программа экспериментальных исследований предусматривала проведение в лаборатории кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей Воронежского ГАУ стендовых и дорожных испытаний ТГА, оборудованного этим устройством.

Стендовыми испытаниями предусматривалось выявить закономерности изменения вертикальных нагрузок на колеса тракторно-транспортного агрегата при их регулируемом корректировании с помощью тягово-цепного устройства плавающего типа, а также определить влияние этого устройства на эксплуатационные показатели транспортного агрегата.

Объектом испытаний являлся тракторно-транспортный агрегат, состоящий из трактора тягового класса 2,0 и двухосного прицепа, которые были соединены посредством тягово-цепного устройства плавающего типа.

На рисунке 1 представлена схема установки трактора и прицепа для замера необходимых параметров.

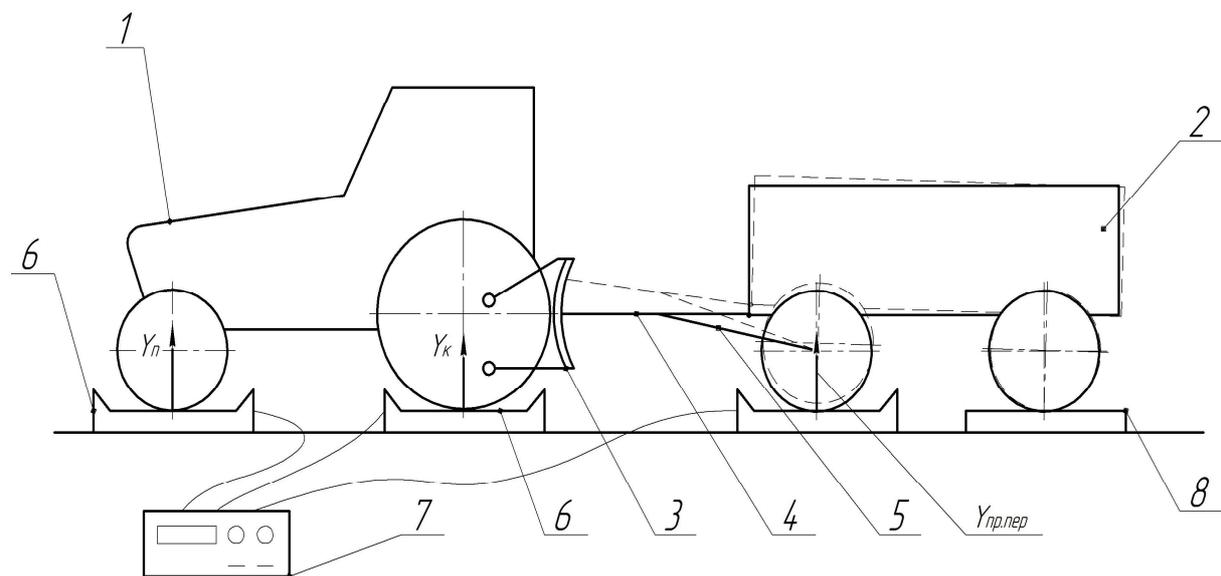


Рис. 1. Схема установки трактора и прицепа с используемым измерительным оборудованием:  
 1 – трактор; 2 – прицеп; 3 – тягово-цепное устройство плавающего типа; 4 – дышло прицепа;  
 5 – ограничитель вертикального перемещения дышла прицепа;  
 6 – тензосенсоры; 7 – регистрирующий прибор тензосенсоров; 8 – опорная подставка

При стендовых испытаниях трактора тягового класса 2,0 с прицепом замерялись следующие величины:

- вертикальные нагрузки на передние  $Y_n$  и задние  $Y_k$  колеса трактора;
- вертикальная реакция на передние колеса прицепа  $Y_{пр.пер}$ .

Перед проведением испытаний все тензovesы тарировались.

Порядок проведения стендовых испытаний заключался в следующем. Под колеса трактора и прицепа устанавливали тензovesы 6 и фиксировали трактор от продольного смещения специальным ограничителем.

Вначале замерили весовые нагрузки на все колеса, под которыми устанавливались тензovesы при нулевых показаниях давления масла в гидроцилиндре навески трактора (рис. 1). Затем при помощи гидроцилиндра навесной системы трактора производили подъем крюка тягово-сцепного устройства плавающего типа 3 по его направляющей и по показаниям прибора тензovesов 7 фиксировали значения весовых параметров. При каждом фиксированном положении штока гидроцилиндра измеряли весовые нагрузки на тензovesах 6 с помощью регистрирующего прибора 7. Испытания проводили до максимального подъема крюка тягово-сцепного устройства плавающего типа. После проведения испытаний были получены данные, которые позволили установить закономерности изменения вертикальных нагрузок на колеса тракторно-транспортного агрегата при их регулируемом корректировании с помощью тягово-сцепного устройства плавающего типа.

Целью дорожных испытаний являлось выявление влияния регулирования тягово-сцепных свойств трактора на основные технико-экономические показатели транспортного агрегата в различных дорожных условиях.

В процессе дорожных испытаний создавали разные значения сцепного веса и определяли соответствующие оценочные показатели. Испытания проводились без регулирования тягово-сцепных свойств и с регулированием.

Технико-экономическая оценка тракторно-транспортного агрегата заключалась в определении скорости движения, буксования ведущих колес, производительности транспортного агрегата, часового и удельного расходов топлива. Почвенными фонами были выбраны фоны с низкой несущей способностью – песчаный грунт и грунтовая дорога после дождя, а также фон с высоким коэффициентом сцепления – сухая грунтовая дорога.

В процессе дорожных испытаний определяли время прохождения ТТА зачетного гона, обороты ведущих колес трактора и расход топлива. На зачетном участке устанавливались контрольные отметки, при пересечении которых включались и отключались измерительные приборы. Испытания проводились с трехкратной повторностью без регулирования тягово-сцепных свойств и с их регулированием.

### **Результаты и их обсуждение**

На рисунке 2 представлена экспериментальная зависимость вертикальных нагрузок на передние колеса трактора и прицепа и на задние колеса трактора, а также суммарного веса трактора и прицепа от угла наклона дышла прицепа (изменением угла наклона дышла прицепа имитировался процесс регулирования тягово-сцепных свойств).

Из представленной зависимости видно, что с увеличением угла наклона дышла прицепа посредством тягово-сцепного устройства плавающего типа передние колеса прицепа  $G_{пр.п.}$  разгружаются, а задние колеса трактора  $G_{тр.з.}$  догружаются, при этом наблюдается рост эксплуатационного веса  $G_{тр.сум.}$  трактора в целом.

Так, установлено, что при увеличении угла наклона дышла прицепа нагрузка на передних колесах прицепа снижается с 32 до 28 кН, нагрузка на задних колесах трактора увеличивается с 32 до 40 кН. При этом суммарный эксплуатационный вес трактора также возрастает с 52 до 57 кН.

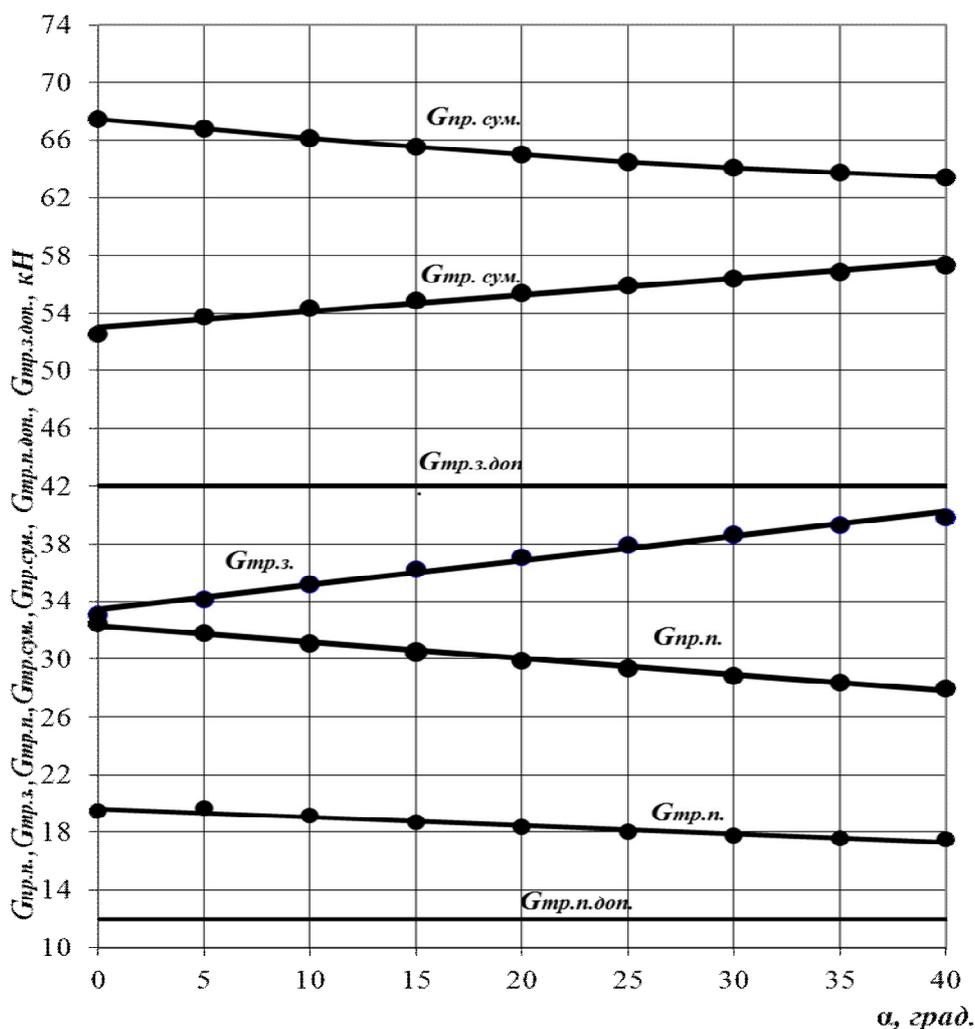


Рис. 2. Экспериментальная зависимость вертикальных нагрузок на передние колеса прицепа и на передние и задние колеса трактора, а также суммарного веса трактора и прицепа от угла наклона дышла прицепа

На представленной зависимости также нанесены линии, характеризующие ограничивающие факторы при регулировании тягово-сцепных свойств тракторно-транспортного агрегата. Эта линия, характеризующая допустимую минимальную нагрузку на передних колесах трактора с точки зрения сохранения удовлетворительной управляемости  $G_{тр.н.доп.}$ , и линия, характеризующая допустимую нагрузку на задние колеса трактора  $G_{тр.з.доп.}$  по их грузоподъемности. Как видно на рисунке 2, превышения допустимых нагрузок нет.

Таким образом, стендовыми испытаниями была подтверждена работоспособность тягово-сцепного устройства плавающего типа. Установлено, что оно позволяет осуществлять корректирование вертикальных нагрузок по осям тракторно-транспортного агрегата и этим обеспечивает регулирование тягово-сцепных свойств.

В процессе дорожных испытаний было определено изменение буксования ведущих колес трактора тракторно-транспортного агрегата, оснащенного тягово-сцепным устройством плавающего типа, при движении в различных почвенных условиях. Так, при движении в почвенных условиях с высоким коэффициентом сцепления (сухая грунтовая дорога) регулирование тягово-сцепных свойств не давало заметного положительного эффекта (рис. 3, кривая 3). Объясняется это малым значением коэффициента буксования, что согласуется с результатами предыдущих исследований по оценке эффективности использования тягово-догружающих устройств.

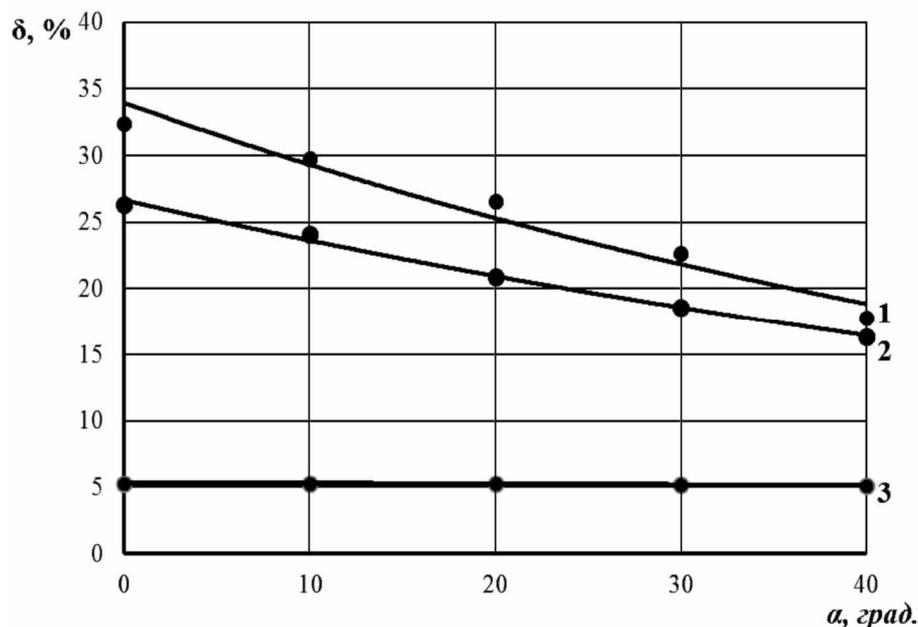


Рис. 3. Зависимость буксования ведущих колес трактора от угла наклона дышла прицепа: 1 – песчаный грунт; 2 – грунтовая дорога после дождя; 3 – сухая грунтовая дорога

В почвенных условиях с низким коэффициентом сцепления получили следующие результаты: на песчаном грунте буксование снизилось с 32,4 до 17,8%, а на грунтовой дороге после дождя – с 26,6 до 16,4%. Таким образом, использование тягово-сцепного устройства плавающего типа обеспечивает существенное снижение буксования ведущих колес трактора при движении в трудных по проходимости дорожных условиях, т.е., другими словами, обеспечивает регулирование тягово-сцепных свойств тракторно-транспортного агрегата.

На рисунке 4 представлены зависимости изменения производительности тракторно-транспортного агрегата при регулировании тягово-сцепных свойств. Разная степень регулирования обеспечивалась изменением угла наклона дышла прицепа.

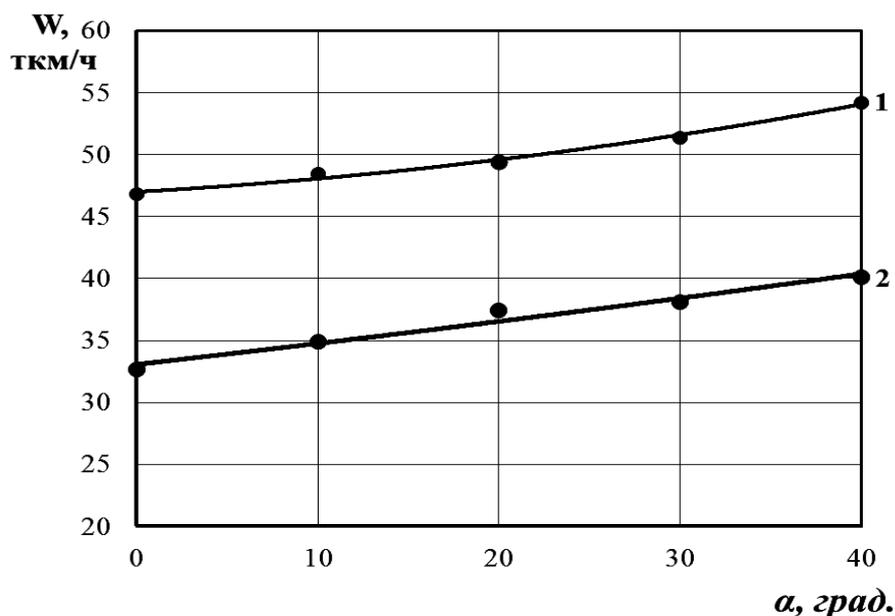


Рис. 4. Изменение производительности тракторно-транспортного агрегата при регулировании тягово-сцепных свойств трактора: 1 – грунтовая дорога после дождя; 2 – песчаный грунт

Результаты исследований показали, что регулирование тягово-сцепных свойств трактора на почвенных фонах с низкой несущей способностью обеспечило повышение производительности транспортного агрегата, а именно: на грунтовой дороге после дождя производительность увеличилась на 16% (с 46,8 до 54,2 ткм/ч), а на песчаном грунте – на 23% (с 32,6 до 40,1 ткм/ч). На почвенном фоне с высоким коэффициентом сцепления регулирование тягово-сцепных свойств весомого эффекта не дало.

Также по результатам дорожных испытаний наряду со снижением буксования и повышением действительной скорости движения отмечено уменьшение удельного расхода топлива. На рисунке 5 показана зависимость изменения удельного расхода топлива при регулировании тягово-сцепных свойств на почвенных фонах с низкой несущей способностью.

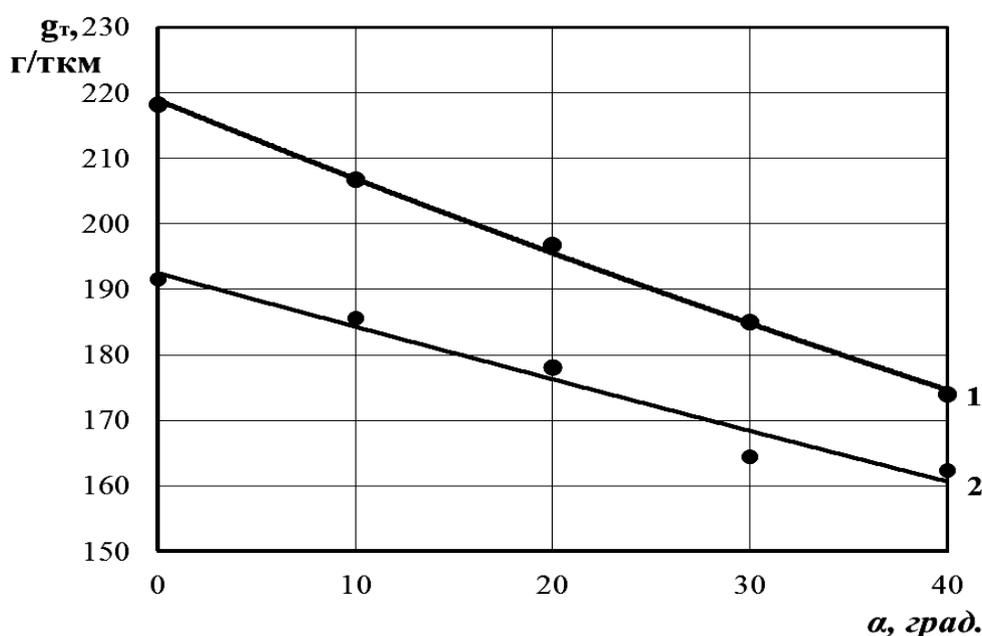


Рис. 5. Изменение удельного расхода топлива тракторно-транспортного агрегата при регулировании тягово-сцепных свойств трактора: 1 – песчаный грунт; 2 – грунтовая дорога после дождя

Установлено, что при движении на песчаном грунте (рис. 5) удельный расход топлива снизился на 25% (с 218,23 до 174 г/ткм), а на грунтовой дороге после дождя это снижение составило 18% (с 191,48 до 162,3 г/ткм).

Снижение удельного расхода топлива объясняется тем, что при регулировании тягово-сцепных свойств трактора происходит изменение составляющих его мощностного баланса. При этом в случае снижения буксования увеличивается действительная скорость движения и тяговая мощность, но возрастают потери на перекачивание. Наоборот, при увеличении буксования происходит обратная картина. Таким образом, если предположить, что увеличение одних составляющих компенсируется снижением других составляющих, то можно считать, что мощность двигателя и его часовой расход топлива будут одинаковы. Исходя из этого, если при регулировании тягово-сцепных свойств агрегат проходит зачетный участок быстрее, чем без регулирования, то это значит, что в первом случае расход топлива за время прохождения зачетного гона будет меньше.

### Выводы

Результаты дорожных испытаний тракторно-транспортного агрегата с использованием тягово-сцепного устройства плавающего типа, позволяющего в процессе работы осуществлять регулирование тягово-сцепных свойств трактора, показали его высокую эффективность.

Лучшие результаты получены при движении ТТА по дорогам с низкой несущей способностью, т.е. с высоким коэффициентом буксования. Проведенные исследования показали, что при движении на таких почвенных фонах регулирование тягово-сцепных свойств трактора позволяет снизить буксование его ведущих колес в среднем до 50%, что в конечном счете выражается в увеличении производительности ТТА в среднем на 23% и снижении удельного расхода топлива до 25%. Полученные результаты в принципе подтвердили результаты теоретических исследований.

### 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. Ворохобин А.В. Результаты исследований усовершенствованной конструкции тягово-сцепного устройства трактора / А.В. Ворохобин // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2016. – № 4. – С. 129-139.
3. Геращенко В.В. Устройство для регулирования сцепного веса трактора / В.В. Геращенко // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2002. – № 5. – С. 15-17.
4. Гребнев В.П. Эффективность корректирования вертикальных нагрузок на колеса тракторно-транспортного агрегата / В.П. Гребнев, А.В. Бочаров // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2001. – № 7. – С. 5-7.
5. Гребнев В.П. Опыт использования ГСВ на транспортных работах / В.П. Гребнев, Ю.Б. Федюрко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1990. – № 7. – С. 46-48.
6. Гребнев В.П. Повышение эффективности использования универсально-пропашных тракторов / В.П. Гребнев, В.И. Панин, В.И. Маслов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1993. – № 4. – С. 21-22.
7. Климанов А.В. Улучшение тягово-сцепных и агротехнических свойств тракторов : учеб. пособие / А.В. Климанов. – Самара, 2001. – 71 с.
8. Ксеневиц И.П. Об оптимальной массе трактора / И.П. Ксеневиц // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1988. – № 12. – С. 5-8.
9. Лещева О.В. Расширение возможностей использования тягово-сцепных устройств сельскохозяйственных тракторов / О.В. Лещева, А.В. Ворохобин, А.Н. Коноплин // Наука и образование в современных условиях : матер. науч. конф. 10.03.2016 – 22.04.2016 г. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2016. – С. 104-110.
10. 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.
11. Федюрко Ю.Б. Оценка эффективности устройств для гидродогрузки задних колес трактора с прицепом / Ю.Б. Федюрко // Повышение эксплуатационной эффективности сельскохозяйственных тракторов : сб. науч. трудов. – Воронеж : ВСХИ, 1987. – С. 93-102.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

#### Принадлежность к организации

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) 253-78-68, E-mail: dogruzka@rambler.ru.

Дата поступления в редакцию 18.06.2017

Дата принятия к печати 28.08.2017

### AUTHOR CREDENTIALS

#### Affiliations

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.

Date of receipt 18.06.2017

Date of admittance 28.08.2017