

УДК 631.3.072:62-229.384

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ТЯГОВОЙ ДИНАМИКИ МОБИЛЬНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СРЕДСТВА КОЛЕСНОЙ ФОРМУЛЫ 4К4Б С ГИДРОУВЕЛИЧИТЕЛЕМ СЦЕПНОГО ВЕСА

Брюховецкий А.Н., кандидат технических наук, доцент,

тел. 7(959)102-98-00, bruhoveckiy67@rambler.ru

Коршенко К.В., кандидат технических наук,

тел. 7(959)124-16-54, kostya.korshenko@bk.ru

Орехов А.А., магистр

ФГБОУ ВО Луганский ГАУ

***Ключевые слова:** методика, эксперимент, тяговая динамика, мобильное энергетическое средство, трактор, гидродуватель*

В статье представлены результаты исследования тяговой динамики мобильного энергетического средства колесной формулы 4К4б с гидродувателем сцепного веса на вспашке. Использование гидродувателя сцепного веса улучшает тягово-сцепные качества трактора, что ведет к снижению буксования. Дополнительно с увеличением давления подпора уменьшается тяговое сопротивление плуга, что также способствует снижению величины буксования.

Введение. Полноприводные мобильные энергетические средства (МЭС) с равновеликими движителями (колесная формула 4К4б) и шарнирно-сочлененной рамой как тип сельскохозяйственных тракторов нетрадиционной компоновки с высокой производительностью занимают важнейшее место в агропроизводстве. Это связано, прежде всего, с тем, что такие машины являются основными транспортными и энергетическими средствами для механизации энергоемких производственных процессов в растениеводстве [1]. В качестве примера подобных тракторов тягово-энергетической концепции, можно назвать тракторы Брянского тракторного завода БТЗ-251К/БТЗ-252К, БТЗ-253К, БТЗ-254К. Повышение проходимости и тягово-сцепных свойств,

влияющих непосредственным образом на производительность данных машин, является важнейшей народно-хозяйственной задачей.

Одним из способов повышения тягово-сцепных свойств тракторов колесной формулы 4К46 с шарнирной рамой является установка гидроувеличителя сцепного веса (ГСВ). Такой вариант решения вопроса был предложен сотрудниками кафедры тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО Луганский ГАУ и исследован в варианте использования трактора – «ветерана» Т-150К как прототипа тракторов БТЗ с установкой ГСВ тракторов семейства МТЗ [2].

Материалы и методы исследования. Лабораторно-полевая установка для исследования тяговой динамики трактора 4К46 с гидроувеличителем сцепного веса (применительно к пахотному агрегату) состоит из трактора Т-150К и агрегируемого с ним плуга ПЛН-5-35, оборудованных необходимыми тензометрическими узлами для замера параметров [3]. На подготовленные поверхности деталей трактора и плуга наклеивались тензорезисторы сопротивлением 200 Ом и базой 0,2 м типа ПКБ-200-20, защищенные от механических повреждений и влаги.

Замер крутящих моментов на ведущих колесах трактора осуществлялся с помощью тензорезисторов, наклеенных на корпус ведущего моста. При передаче крутящего момента колесом (за счет планетарной передачи) скручивается и корпус моста. Это позволяет измерять крутящий момент, не применяя токосъемников. Примененный способ замера крутящих моментов повышает надежность и точность регистрации. Датчики наклеивались на цилиндрической поверхности корпуса моста в четырех диаметрально противоположных точках, так, что каждый был расположен под углом 45° к продольной оси и под углом 90° к диаметрально противоположному датчику. Тензорезисторы включались попарно в два плеча полумоста, причем на одном плече они расположены под углом 90° к тензорезисторам другого плеча. Такая схема наклейки тензорезисторов обеспечивает температурную компенсацию и исключает влияние деформации моста, нагруженного поперечными и осевыми силами.

Для определения силового воздействия навесной машины на трактор необходимо знать изменение нормальных реакций на колеса трактора. Замер нормальных реакций осуществлялся с помощью

тензорезисторов, наклеенных на корпуса ведущих мостов в вертикальной плоскости на участках между редуктором конечной передачи и креплением моста к раме трактора.

Для замера усилий в механизме навески трактора в двух взаимно-перпендикулярных плоскостях (горизонтальные и вертикальные составляющие тягового сопротивления) тензорезисторы наклеивались непосредственно на подготовленные поверхности трубчатого нижнего вала и вала верхней тяги механизма навески. Чтобы избежать ошибки, при изменении точки приложения силы, погружающей вал (при смещении точки крепления нижних тяг по валу), на него наклеивались в каждой плоскости по два тензорезистора с включением их в рабочее плечо полумоста. При такой наклейке тензорезисторов, изменение плеча, приложение силы не влияет на показания прибора, так как в этом случае измеряется деформация не на всей длине вала, а только на плече между тензорезисторами.

Эта деформация пропорциональна силе и не зависит от точки ее приложения. Дополнительные тензорезисторы наклеиваются с целью усиления сигнала, температурной компенсации и избежания замера осевых усилий.

Величину нормальной реакции на опорном колесе плуга измеряли с помощью тензорезисторов, закрепленных на подготовленной поверхности стойки опорного колеса.

Для контроля и замера давления масла в гидравлической навесной системе применялся датчик давления с цилиндрическим чувствительным элементом, на который были наклеены тензорезисторы.

Частота вращения колес трактора и путеизмерительного колеса замерялась с помощью прерывателей и счетчиков электрических импульсов типа СБ-1М/100, а также показатели записывались на ленту осциллографа.

Пройденный путь за опыт замерялся с помощью «пятого» (путеизмерительного) колеса, которое движется по колее трактора.

Датчики тензометрических устройств кабельной связью соединялись с промежуточным преобразователем (усилителем 8АНЧ-7М). Регистрация измеряемых параметров осуществлялась на фотобумагу чувствительностью 400-800 ед. светолучевого

осциллографа Н-700. В качестве рабочих использовались гальванометры типа М001.3 и М01.4. Гальванометры М01.5 использовались для регистрации частоты вращения.

Перечисленные типы гальванометров, обладая достаточной чувствительностью, хорошо переносят вибрации и тряски в полевых условиях.

Серийно выпускаемая аппаратура: усилитель 8АНЧ-7М и осциллограф Н-700 питаются от сети переменного тока напряжением 220 В или 127 В, что затрудняет их применение в полевых условиях. Для использования перечисленной аппаратуры при полевых испытаниях необходима либо передвижная электростанция, либо специально разработанный полевой блок питания.

На двигателях СМД-62 трактора Т-150К устанавливаются генераторы переменного тока Г-309 мощностью 1000 Вт. Для питания усилителя и осциллографа в лабораторно-полевой установке использовался генератор трактора. Для этого к генератору был подключен осветительный трансформатор мощностью 1000 Вт с обмотками 220/12 В низковольтной обмоткой к двум фазам генератора. К высоковольтной обмотке трансформатора подключались блоки питания усилителя и осциллографа. Так как при изменении частоты вращения коленчатого вала двигателя напряжение на фазах генератора изменяется в широких пределах, в схему был введен специальный регулятор для поддержания номинального напряжения 14 В на первичной обмотке трансформатора при изменении частоты вращения коленчатого вала в пределах от 500 до 2000 мин⁻¹. Для этой цели использовался бесконтактный регулятор на основе реле-регулятора РР-362. Так как при изменении частоты вращения коленчатого вала двигателя изменяется и частота питающего напряжения, то на вторичных обмотках трансформатора будет индуцироваться ЭДС прямопорциональная изменению питающего напряжения и частоты (частота изменяется от 100 до 400 Гц). Поэтому сигнал на реле-регулятор приходится снимать с канальной обмотки трансформатора блока питания усилителя. В этом случае реле-регулятор будет реагировать на изменение питающего напряжения, как в зависимости от частоты вращения коленчатого двигателя, так и от изменения нагрузки.

Перед проведением полевых опытов, в промежутках между опытами и в конце проводилась тарировка тензометрических элементов с целью выявления зависимости между действующими нагрузками и ординатой отклонения «зайчика» шлейфа на осциллограмме. При тарировке нагрузка задавалась (по возможности) равными ступенями от минимальной до максимальной с учетом перегрузки до 10-15%. Каждому значению нагрузки и разгрузки записывалось отклонение «зайчика» шлейфа на фотобумаге осциллографа. Перед нагружением тензоэлемента и в конце разгрузки производилась запись масштаба и нулевой линии. Тарировка тензоэлементов проводилась с трехкратной повторностью.

Вследствие наличия упругого гистерезиса в тензометрическом элементе, сил трения и погрешности аппаратуры ордината нагрузки не совпадает с ординатой разгрузки. В результате чего высота ступеней разгрузки тарировочной диаграммы будет отличаться от высоты ступеней нагрузки на величину $2\Delta h$, где Δh – статическая погрешность (1), представляющая собой отклонение от действительной величины нагрузки:

$$\Delta h = \pm \frac{h'_i - h_i}{2}, \text{ мм} \quad (1)$$

где h'_i - средняя ордината по разгрузке на данной ступени, м;

h_i - средняя ордината по нагрузке на данной ступени, м.

Абсолютная статическая погрешность на данной ступени подсчитывается по формуле:

$$\Delta P = K \cdot \Delta \cdot h \quad (2)$$

где K - масштаб тензоэлемента.

Среднее значение относительной погрешности тарировки определялось как среднее арифметическое относительных погрешностей, полученных по всем ступеням. Чтобы избежать изменения условий работы тензометрических узлов и элементов, тарировка проводилась непосредственно на тракторе в рабочем состоянии с питанием аппаратуры от генераторной установки трактора.

Алгоритм проведения эксперимента был задан в следующем виде:

- а) выбор участка, его разметка и определения направления движения;
- б) распределение обязанностей между обслуживающим персоналом;
- в) прогрев трактора;
- г) прогрев и настройка аппаратуры;
- д) запись в журнале наблюдений начальных данных;
- е) разгрузка всех тензометрических узлов и деталей, запись нулевых линий и тарировочных сигналов;
- ж) приведение агрегата в рабочее состояние;
- з) работа агрегата и запись на фотобумагу осциллографа необходимых параметров;
- и) запись нулевых линий и тарировочных сигналов в промежутках между опытами и периодический контроль за работой аппаратуры;
- к) запись нулевых линий и тарировочных сигналов в конце опытов.

В журнале наблюдения записываются все неполадки, изменяющиеся условия и режимы работы агрегата.

Во время полевых опытов регистрировались на ленту осциллографа следующие параметры:

- а) усилия в навесном механизме;
- б) нормальные реакции почвы на переднюю и заднюю оси трактора;
- в) нормальную реакцию на опорном колесе плуга;
- г) обороты колес трактора;
- д) пройденный путь;
- е) время опыта.

Непосредственно определялась влажность и плотность почвы на каждом фоне, давление в гидросистеме (по манометру), обороты двигателя (по тахоспидометру), глубина вспашки.

Опыты проводились на 3-х почвенных фонах: многолетняя залежь влажностью 10–15%; поле после картофеля влажностью 10–16%; поле, подготовленное под посев, влажностью 12–16% с

использованием ГСВ (давление подпора менялось) и без ГСВ при различной глубине вспашки.

Результаты и их обсуждение. Проведенные опыты показывают, что тяговое сопротивление плуга, при неизменной глубине обработки почвы, при включении ГСВ с увеличением давления подпора в силовом цилиндре, уменьшается. Это наблюдалось для всех почвенных фонов и при различной глубине вспашки. Так на залеже это изменение сопротивления составляло 3900 Н или 9,7%, при глубине вспашки 0,32...0,33 м и 2000 Н или 5,5% при глубине вспашки 0,27 м, при изменении давления подпора от 0 (ГСВ выключен) до 29 атмосфер.

Наблюдалось перераспределение усилий в нижних и верхних тягах. Так горизонтальное усилие в верхней тяге снижалось с 11870 Н при включенном ГСВ до 875 Н при $P = 29$ атмосфер на поле после картофеля. Усилие в нижних тягах изменялось незначительно. Общее же сопротивление плуга уменьшалось. На наш взгляд это объясняется тем, что уменьшается сопротивление качению опорного колеса и постоянное сопротивление плуга, которое пропорционально весу плуга и коэффициенту трения скольжения, а также возможно некоторым изменениям углов установки плуга и кинематики навески.

В связи с увеличением веса трактора при работающем ГСВ, улучшаются его тягово-сцепные качества, что ведет к снижению буксования. Дополнительно, с увеличением давления подпора уменьшается тяговое сопротивление плуга, что также способствует снижению величины буксования. Это же подтверждается и опытными данными, так на поле после картофеля буксование снизилось с 13,5% до 3,9% при глубине обработки 0,30...0,32 м, то есть в 3,4 раза. При глубине обработки 0,25...0,27 м с 10,4% до 3,5%, то есть почти в 3 раза; при глубине обработки 0,22...0,23 м с 7,4% до 3%, то есть в 2,5 раза.

Аналогичная картина наблюдалась и на других почвенных фонах. Так на залеже буксование снижалось с 15,7% до 10,35% при давлении подпора 29 атмосфер и глубине вспашки 0,32...0,33 м, то есть в 1,5 раза, а при глубине обработки почвы 0,27 м с 9,9% до 5,5% или в 1,8 раза.

Более резкое снижение буксования наблюдается на более рыхлых фонах с увеличением давления подпора и глубины вспашки. Так при давлении подпора 29 атмосфер буксование на поле после картофеля

лежит в пределах 3...4% при различных глубинах обработки от 0,22 до 0,32 м. Тогда как при включенном ГСВ буксование соответственно равно 7,4% для глубины 0,22...0,23 м, 10,4% для 0,25...0,27 м, 13,5% – для 0,30...0,32 м.

При снижении величины буксования, во время включения ГСВ, увеличивается скорость движения трактора. Снижение же тягового сопротивления плуга способствовало увеличению скоростного режима двигателя и, в конечном счете, увеличению также скорости передвижения трактора. Эти два фактора объясняют увеличение скорости движения пахотного агрегата и повышение его производительности.

Увеличение скорости трактора составляло на поле после картофеля 12,5% ($h = 0,30...0,32$ м); 8,15% ($h = 0,25...0,27$ м) и 5,15% при глубине вспашки $h = 0,22...0,23$ м. На залеже соответственно на 4% и 9,3% – для вспашки соответственно на глубину 0,27 и 0,32...0,33 м.

Увеличение скорости пахотного агрегата повышают его производительность в среднем на 9% на вспашке поля после кукурузы.

Заключение. По опытным данным величина догрузки трактора с изменением давления подпора меняется пропорционально давлению подпора и практически не зависит от почвенного фона и глубины обработки.

Проведенные опыты показывают, что тяговое сопротивление плуга, при неизменной глубине обработки почвы, при включении ГСВ с увеличением давления подпора в силовом цилиндре, уменьшается. Это наблюдалось для всех почвенных фонов и при различной глубине вспашки.

В связи с увеличением веса трактора при включенном ГСВ, улучшаются тягово-сцепные качества машины, что ведет к снижению буксования. Дополнительно, с увеличением давления подпора уменьшается тяговое сопротивление плуга, что также способствует снижению величины буксования.

Библиографический список:

1. Нефедов, А. Тракторы с шарнирно-сочлененной рамой для села [Электронный ресурс] <https://os1.ru/article/4959-traktory-s-sharnirno-sochlenennoy-ramoy-dlya-sela> – [Загл. с экрана].
2. Беляев, А.Н., Брюховецкий, А.Н., Дубравин, О.В., Коршенко, К.В. Улучшение тягово-сцепных свойств тракторов колесной формулы 4К4 с шинами равного размера при вспашке [Текст] / А.Н. Беляев // В сборнике: Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения. Материалы международной научно-практической конференции. 2020. С. 167–173.
3. Коршун, Н.А. Агрегатирование тракторов Т-150 и Т-150К с сельскохозяйственными машинами [Текст] / Н.А. Коршун. – М.: Колос. – 1975. – 160 с.

THE METHOD OF CONDUCTING AN EXPERIMENT TO STUDY THE TRACTION DYNAMICS OF A MOBILE POWER VEHICLE OF THE 4K4b WHEEL FORMULA WITH A HYDRAULIC COUPLING WEIGHT MAGNIFIER

Bryukhovetsky A.N., Korshenko K.V., Orekhov A.A.

***Key words:** methodology, experiment, traction dynamics, mobile power vehicle, tractor, hydraulic magnifier*

The article presents the results of a study of the traction dynamics of a mobile power vehicle of the 4K4b wheel formula with a hydraulic coupling weight magnifier on plowing. The use of a hydraulic coupling weight magnifier improves the traction qualities of the tractor, which leads to a decrease in slipping. Additionally, with an increase in the pressure of the backup, the traction resistance of the plow decreases, which also helps to reduce the amount of slipping.