

Измерение силы тяги на крюке трактора в агрегате с навесной сельскохозяйственной машиной

Measurement of tractive effort at the drawbar of tractor in aggregate with mounted agricultural machine

С. Г. ПАРХОМЕНКО¹, канд. техн. наук

Г. Г. ПАРХОМЕНКО², канд. техн. наук

¹ Азово-Черноморский инженерный институт
Донского государственного аграрного
университета, Зерноград, Россия,
s-parkhom@mail.ru

² Северо-Кавказский научно-исследовательский
институт механизации и электрификации
сельского хозяйства, Зерноград, Россия,
parkhomenko.galya@yandex.ru

S. G. PARKHOMENKO¹, PhD in Engineering

G. G. PARKHOMENKO², PhD in Engineering

¹ Azov-Black Sea Engineering Institute
of Don State Agrarian University,
Zernograd, Russia,
s-parkhom@mail.ru

² North Caucasus Research Institute
of Agricultural Engineering and Electrification,
Zernograd, Russia,
parkhomenko.galya@yandex.ru

Динамометрирование используется при выполнении научных исследований и эксплуатации почвообрабатывающих машин. Оно необходимо для комплектования тракторных агрегатов, установления норм выработки и расхода горючего, а также для обеспечения контроля технического состояния тракторов и сельхозмашин, правильности их регулирования. В условиях эксплуатации динамометрирование заключается в определении горизонтальной составляющей тягового сопротивления почвообрабатывающих машин. По этим данным можно дать общую сравнительную оценку энергоемкости различных машин. Существуют методы динамометрирования с использованием динамометрических рам, а также с использованием тензодатчиков, встраиваемых в тяги и пальцы трехточечной навески. Все эти методы имеют ряд недостатков. Основные из них — использование нескольких датчиков и, как следствие, невозможность непосредственного измерения суммарных сил и большие погрешности определения искомых величин. Цель исследования — разработать устройство для динамометрирования навесных сельхозмашин, позволяющее выполнять необходимые измерения без внесения изменений в конструкцию трактора и агрегируемой машины с использованием одного силоизмерительного датчика. Представленная динамометрическая автосцепка изготовлена на базе двух стандартных автосцепок, между которыми установлен силоизмерительный датчик. Результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о работоспособности представленной динамометрической автосцепки. Предлагаемое устройство универсально, может быть использовано с любым трактором и навесной сельхозмашиной, не требует изменения конструкции трактора и сельхозмашины. Применение одного силоизмерительного датчика позволяет выполнять измерения с высокой точностью.

Ключевые слова: сила тяги; тяговое сопротивление; динамометр; трактор; сельскохозяйственная машина; машинно-тракторный агрегат; автосцепка.

Dynamometer test is used in scientific researches and in operation of tillage machines. It is necessary for completing of tractor units, for setting of rate of production and fuel consumption, and also for ensuring the control of technical condition of tractors and agricultural machines and correctness of their regulation. Under operating conditions, dynamometer test consists in determination of a horizontal component of tractive resistance of tillage machines. According to these data, it is possible to give the general comparative assessment of power consumption of various machines. There are methods of dynamometer test with the use of dynamometer frames, and also with the use of load cells, which embed into linkages and pins of the three-point hitch. All these methods have several disadvantages. Main of them is the use of several force sensors, which provides the lack of possibility of direct measurement of the total forces and raw errors of determination of the sought quantities. The aim of the research is to develop a device for dynamometer test of mounted agricultural machines, allowing to make the necessary measurements using one force-measuring sensor, without design changes of tractor and mounted machine. Presented dynamometer automatic coupler is made on the basis of two standard automatic couplers with a force measuring sensor mounted between them. Experimental studies showed the operability of the presented dynamometer automatic coupler. The proposed device is universal, it can be used with any tractor and any mounted agricultural machine and does not require design changes of tractor and agricultural machine. The application of one force measuring sensor enables the measurement with high precision.

Keywords: tractive effort; tractive resistance; dynamometer; tractor; agricultural machine; machine-tractor unit; automatic coupler.

Введение

Эксплуатационные свойства почвообрабатывающей машины существенно влияют на эффективность ее использования и качественные показатели технологического процесса. Знание эксплуатационных свойств почвообрабатывающей машины нужно для комплектации машинно-тракторного агрегата (МТА) с высокими технико-экономическими показателями.

Одна из основных задач при эксплуатационных расчетах МТА — определение тягового сопротивления агрегируемой почвообрабатывающей машины. Данные

экспериментальных исследований и испытаний машин и рабочих органов на почвах с различными физико-механическими свойствами свидетельствуют о том, что действительные значения тягового сопротивления существенно отличаются от расчетных. Это обусловлено тем, что эмпирические коэффициенты, входящие в расчетные формулы, непостоянны и меняются в широких пределах в зависимости от почвенных условий. Более точных результатов можно добиться при определении тягового сопротивления почвообрабатывающих машин методом динамометрирования.



Рис. 1. Динамометрическая рама и тензодатчики:

1 — динамометрическая рама; 2, 3 — тензозвенья

Динамометрирование применяется как при выполнении научно-исследовательских работ, так и при эксплуатации почвообрабатывающих машин, например для комплектования МТА, установления норм выработки и расхода горючего, а также для обеспечения контроля технического состояния тракторов и сельхозмашин, правильности их регулирования [1]. В условиях хозяйственной эксплуатации динамометрирование заключается в определении горизонтальной составляющей тягового сопротивления машин, по которой можно дать общую сравнительную оценку энергоемкости различных сельхозмашин [1].

Основное условие динамометрирования — установка тензометрических элементов без нарушения кинематики механизмов и силового воздействия на трактор, для чего тензоэлементы размещают в точках крепления или присоединения орудия или машины к трактору [2].

Известны методы динамометрирования с использованием динамометрических рам, встраиваемых в рычаги и тяги навески тензоэлементов, тензометрических пальцев [1, 2]. Все эти методы предполагают внесение изменений в конструкцию трактора или машины и имеют ряд недостатков. Один из основных недостатков — использование нескольких датчиков и, как следствие, невозможность непосредственного измерения суммарных сил и большие погрешности определения искомых величин [2].

Динамометрическая рама (рис. 1), установленная между трактором и механизмом навески, позволяет использовать один датчик. Недостаток метода измерений с использованием таких рам заключается в необходимости их изготовления для каждого трактора и в трудоемкости монтажа [1]. Динамометрическая рама позволяет определить горизонтальную составляющую тягового сопротивления, приведенную к трем точкам, и представляет собой переходное звено

между навесной машиной и трактором [3—6]. В гнезда рамы монтируются тензозвенья, к которым при помощи пальцев присоединяются тяги навески трактора.

Тяговое сопротивление измеряется с помощью динамометрической рамы по трем точкам: двум симметрично расположенным нижним и верхней центральной. Суммарная сила тяги, кН, рассчитывается по формуле:

$$P_{кр} = \sqrt{(P_{кр}^в)^2 + (P_{кр}^{пр})^2 + (P_{кр}^л)^2},$$

где $P_{кр}^в$, $P_{кр}^{пр}$, $P_{кр}^л$ — составляющие тягового сопротивления соответственно на верхней и нижних правой и левой точках, кН.

Недостаток встраивания тензоэлементов в рычаги и тяги навески заключается в сложности определения искомых параметров по измеряемым величинам [2].

Широкое распространение в динамометрировании получили тензометрические пальцы [1, 2]. Недостаток этого метода — непостоянство чувствительности тензометрических пальцев при изменении наклона тяг навески [1].

Цель исследования

Исследование выполнено с целью разработки конструкции устройства для динамометрирования навесных сельхозмашин, которая позволила бы выполнять необходимые измерения без внесения изменений в конструкцию трактора и агрегируемой машины с использованием одного силоизмерительного датчика.

Материалы и методы

Горизонтальная составляющая тягового сопротивления навесной сельхозмашины может быть определена с помощью динамометрической автосцепки (рис. 2, 3) [7]. Представленная динамометрическая автосцепка изготовлена на базе двух стандартных автосцепок 1 и 2, соединенных системой из четырех пластин 4 и шести шарниров 5—10. Пары осей шарниров 7 и 10, 5 и 9, 6 и 8 находятся в параллельных поперечных плоскостях. Три левые 7, 5, 6 и три правые 8, 9, 10 оси шарниров па-

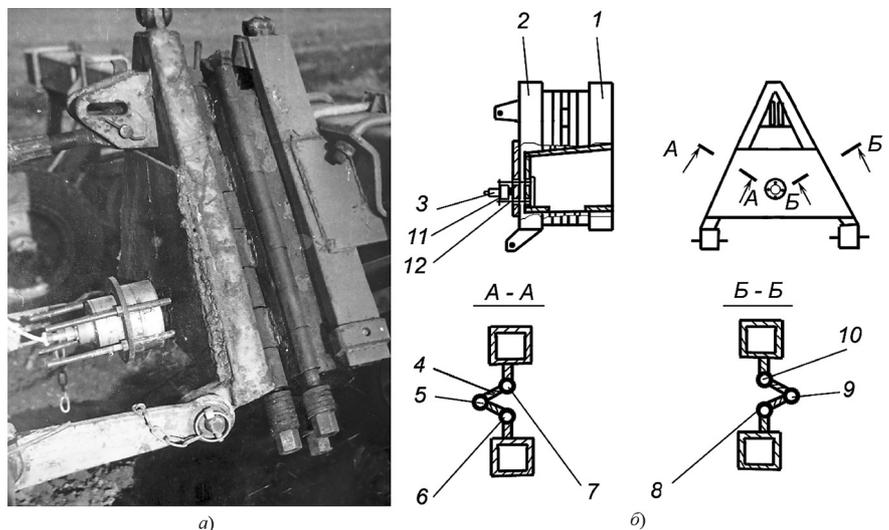


Рис. 2. Общий вид (а) и схема (б) динамометрической автосцепки

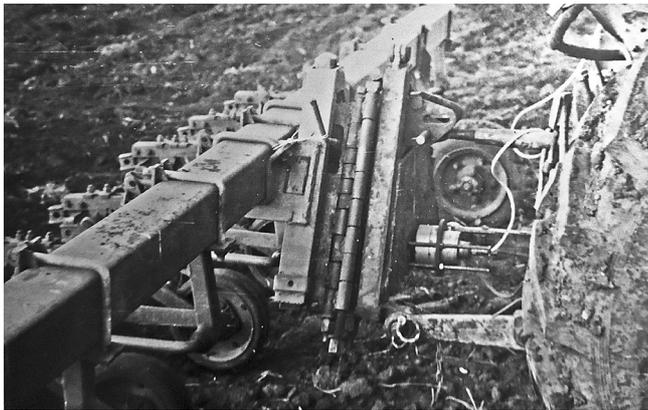


Рис. 3. Динамометрирование культиватора КРН-5,6

раллельны сторонам автосцепок. К каждой автосцепке шарнирно присоединены по две пластины. Две оси 5 и 9 шарнирно соединяют пластины и подвижны относительно автосцепок. Оси шарниров 6 и 8 неподвижны относительно автосцепки 2, а оси шарниров 7 и 10 — относительно автосцепки 1. Ввиду того, что оси шарниров 5—7 находятся под углом к осям шарниров 8—10, автосцепка 1 может перемещаться относительно автосцепки 2 только в продольном направлении. Препятствует этому установленный между автосцепками силоизмерительный датчик 3.

Силоизмерительный датчик сжатия ГСП ДТС-С-016-12-0.4 закреплен между пластиной, приваренной к автосцепке 2, и кольцом 11, соединенным шпильками 12 с пластиной, приваренной к автосцепке 1. При приложении тягового усилия автосцепка 1 стремится переместиться от автосцепки 2. При этом датчик сжимается, и его сигнал фиксируется регистрирующей аппаратурой. Возможно использование датчика, работающего на растяжение, с применением необходимых крепежных деталей.

Вертикальная составляющая нагрузки от автосцепки 1 системой шарниров передается на автосцепку 2 и далее через навеску на остов трактора.

Предлагаемое устройство также позволяет определить энергозатраты на обработку почвы по следу трак-

тора. Тяговое сопротивление по следу и вне следа колес трактора — показатель уплотнения почвы.

Проведены экспериментальные исследования по определению энергозатрат на обработку следа трактора, которые оценивались по тяговому сопротивлению двух секций культиватора КРН-5,6 по следу колес и вне следа. Измерение тягового сопротивления осуществлялось на МТА, в состав которого входили трактор МТЗ-80 и брус культиватора КРН-5,6 с двумя закрепленными на нем секциями и двумя опорными колесами (рис. 4, а). Замер производился при скорости движения агрегата 2 м/с.

Проведено три серии опытов. Первая серия включала измерение тягового сопротивления по следу колес трактора. На ведущие колеса трактора устанавливались серийные радиальные и экспериментальные шины размера 16,9—30. Внутреннее давление воздуха в шинах 0,09 МПа. Две секции были размещены на бруске культиватора КРН-5,6 так, чтобы они шли по следу колес трактора (см. рис. 4, а). Для второй серии опытов по измерению тягового сопротивления две секции были размещены на бруске так, чтобы они шли вне следа колес трактора. Третья серия опытов включала измерение сопротивления качению колес культиватора (рис. 4, б), для чего с бруса культиватора КРН-5,6 были сняты все секции.

Результаты и их обсуждение

По результатам экспериментальных исследований [7—11] функционирования агрегата, состоящего из трактора МТЗ-80 и культиватора КРН-5,6 (см. рис. 3), с использованием динамометрической автосцепки определено среднее значение силы тяги на крюке 12,8 кН, дисперсия составила 3,62 кН². На рис. 5 приведены графики нормированной автокорреляционной функции и спектральной плотности процесса изменения силы тяги на крюке трактора.

Тяговое сопротивление двух секций культиватора КРН-5,6 вне следа колес трактора составило 2,476 кН, по следу колес трактора МТЗ-80 с серийными радиальными шинами — 3,653 кН, с экспериментальными —



а)



б)

Рис. 4. Измерение энергозатрат на обработку почвы по следу колес (а) и сопротивления качению опорных колес культиватора (б)

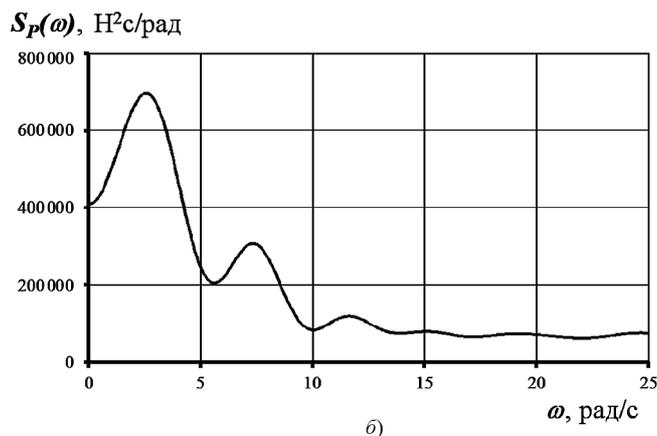
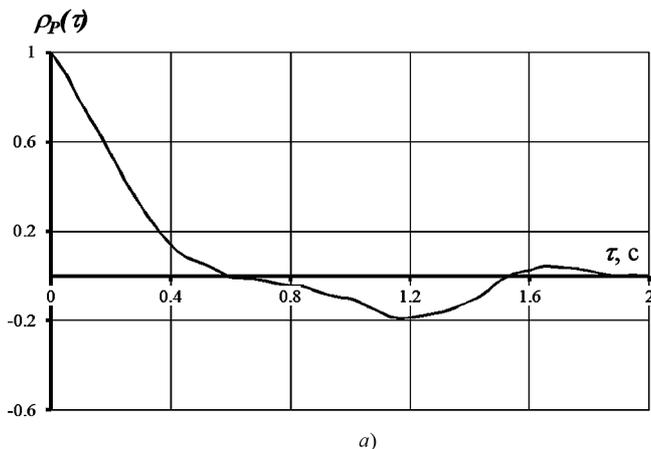


Рис. 5. Нормированная автокорреляционная функция (а) и спектральная плотность (б) процесса изменения силы тяги на крюке трактора

3,168 кН (см. рис. 4, а). Прирост тягового сопротивления равен 47,5 и 27,9 % соответственно.

Выводы

Проведенные экспериментальные исследования позволяют сделать вывод о работоспособности предложенной динамометрической автосцепки. Автосцепка универсальна, может быть использована с любым трактором соответствующего класса тяги и любой навесной сельхозмашиной, агрегируемой с этим трактором. Изменение конструкции трактора и сельхозмашины не требуется. Применение одного силоизмерительного датчика позволяет выполнять измерения с высокой точностью.

Литература и источники

1. **Высоцкий А. М.** Динамометрирование сельскохозяйственных машин. М.: Машиностроение, 1968. 290 с.
2. **Васильев А. В., Раппопорт Д. М.** Тензометрирование и его применение в исследованиях тракторов. М.: Машгиз, 1963. 340 с.
3. **Пархоменко Г. Г.** Исследование чизеля. Сравнительная оценка рабочих органов. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. 80 с.
4. **Пархоменко Г. Г., Твердохлебов С. А.** Сравнительная оценка энергетических показателей плуга садового чизельного с различными вариантами рабочих органов // Вестник Мичуринского ГАУ. 2012, № 3. С. 152—156.
5. **Пархоменко Г. Г., Твердохлебов С. А., Максименко В. А.** Экспериментальное определение влияния режимов функционирования и параметров рабочих органов на качественные и энергетические показатели плуга садового чизельного // Агроинженерная наука в повышении энергоэффективности АПК: Мат-лы 7-й междунар. науч.-практ. конф. Зерноград, 2012. С. 24—34.
6. **Пархоменко Г. Г., Твердохлебов С. А.** Изменение тягового сопротивления плуга садового чизельного в процессе трансформации рабочих органов // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: Мат-лы 5-й междунар. науч.-практ. конф. Ростов-на-Дону, 2012. С. 49—51.
7. **Пархоменко С. Г.** Совершенствование функционирования МТА с колесным трактором класса 1,4 на основе оптимизации параметров пневматических шин: Дис. ... канд. техн. наук. Зерноград, 1999. 156 с.
8. **Пархоменко Г. С., Пархоменко С. Г., Пархоменко Г. Г.** Анализ рабочих режимов и расчет на ПЭВМ состава тяговых машинно-тракторных агрегатов // Мат-лы 42-й междунар. науч.-техн. конф. Челябинского ГАУ. Челябинск, 2003. С. 315—320.

9. **Пархоменко С. Г., Яровой В. Г., Кравченко В. А.** Результаты полевых испытаний культиваторного агрегата // Совершенствование технологических процессов, машин и аппаратов в инженерной сфере АПК: Мат-лы науч. конф. Зерноград: АЧГАА, 1999. С. 58—59.

10. **Пархоменко С. Г., Яровой В. Г., Кравченко В. А.** Тяговая динамика культиваторного агрегата // Исследования и реализация новых технологий и технических средств в сельскохозяйственном производстве. Зерноград: ВНИПТИМЭСХ, 2001. С. 39—42.

11. **Пархоменко С. Г.** Улучшение показателей работы МТА путем выбора оптимальных параметров пневматических шин // Вклад молодых ученых в развитие аграрной науки в начале XXI века: Мат-лы науч.-практ. конф. Ч. 2. Воронеж: ВГАУ, 2003. С. 185—186.

References

1. **Vysotskiy A. M.** *Dinamometrirovaniye sel'skokhozyaystvennykh mashin* [Dynamometer tests of agricultural machines]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1968, 290 p.
2. **Vasil'ev A. V., Rappoport D. M.** *Tenzometrirovaniye i ego primeneniye v issledovaniyakh traktorov* [Strain measurement and its application in tractor studies]. Moscow, Mashgiz Publ., 1963, 340 p.
3. **Parkhomenko G. G.** *Issledovanie chizelya. Sravnitel'naya otsenka rabochikh organov* [Chisel study. Comparative evaluation of working bodies]. Saarbrücken, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013, 80 p. (in Russ.).
4. **Parkhomenko G. G., Tverdokhlebov S. A.** Comparative evaluation of energy performance of garden chisel plow with different variations of working bodies. *Vestnik Michurinskogo GAU*, 2012, no. 3, pp. 152—156 (in Russ.).
5. **Parkhomenko G. G., Tverdokhlebov S. A., Maksimenko V. A.** Experimental determination of influence of operating modes and parameters of working bodies on quality and energy performance of garden chisel plow. *Agroinzhenernaya nauka v povyshenii energoeffektivnosti APK. Mat-ly 7-y mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Agroengineering science in improving the energy efficiency of agroindustrial complex. Proc. of 7th int. sci. and pract. conf.]. Zernograd, 2012, pp. 24—34 (in Russ.).
6. **Parkhomenko G. G., Tverdokhlebov S. A.** Changing the traction resistance of garden chisel plow in the process of transformation of working bodies. *Sostoyaniye i perspektivy razvitiya sel'skokhozyaystvennogo mashinostroeniya. Mat-ly 5-y mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [State and prospects of development of agricultural engineering. Proc. of 5th int. sci. and pract. conf.]. Rostov-on-Don, 2012, pp. 49—51 (in Russ.).
7. **Parkhomenko S. G.** *Sovershenstvovaniye funktsionirovaniya MTA s kolesnym traktorom klassa 1.4 na osnove optimizatsii parametrov pnevmaticheskikh shin. Dis. kand. tekhn. nauk* [Improvement of operation of machine-tractor unit with a wheel tractor of 1.4 class,

based on the optimization of parameters of pneumatic tires. PhD in Engineering thesis]. Zernograd, 1999, 156 p.

8. Parkhomenko G. S., Parkhomenko S. G., Parkhomenko G. G. Analysis of operating modes and calculation on PC of composition of traction machine-tractor units. *Mat-ly 42-y mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. Chelyabinskogo GAU* [Proc. of 42 int. sci. and tech. conf. of Chelyabinsk State Agroengineering University]. Chelyabinsk, 2003, pp. 315–320 (in Russ.).

9. Parkhomenko S. G., Yarovoy V. G., Kravchenko V. A. Results of field tests of a cultivator unit. *Sovershenstvovanie tekhnologicheskikh protsessov, mashin i apparatov v inzhenernoy sfere APK. Mat-ly nauch. konf.* [Improvement of technological processes, machines and devices in the engineering sphere of agroindustrial complex. Proc. of sci. conf.]. Zernograd, 1999, pp. 58–59 (in Russ.).

10. Parkhomenko S. G., Yarovoy V. G., Kravchenko V. A. Traction dynamics of a cultivator unit. *Issledovaniya i realizatsiya novykh tekhnologiy i tekhnicheskikh sredstv v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve* [Research and implementation of new technologies and equipment in agricultural production]. Zernograd, All-Russian Research and Technology-and-Design Institute of Agricultural Engineering and Electrification, 2001, pp. 39–42 (in Russ.).

11. Parkhomenko S. G. Improvement of machine-tractor unit performance by selecting optimum parameters of pneumatic tires. *Vklad molodykh uchenykh v razvitie agrarnoy nauki v nachale XXI veka. Mat-ly nauch.-prakt. konf.* [Contribution of young scientists to the development of agrarian science at the beginning of the XXI century. Proc. of sci. and pract. conf. Part 2]. Voronezh, Voronezh State Agrarian University, 2003, pp. 185–186 (in Russ.).