

## ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ДИНАМОМЕТРИРОВАНИЕ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ОРУДИЙ

Мяленко В.И.\*, докт. техн. наук;

Маринов Н.А., инженер

Кемеровский государственный сельскохозяйственный институт, ул. Марковцева 5, Кемерово, 650056, Российская Федерация, \*e-mail: ksai@ksai.ru

Совершенствование почвообрабатывающих орудий невозможно без экспериментальных проверок и оценок реальных нагрузок при эксплуатации. Рабочие органы почвообрабатывающих орудий как правило имеют несимметричную геометрическую форму и подвергаются действию пространственной системы сил, которая не имеет равнодействующей силы. Предложено устройство для пространственного динамометрирования, которое обладает рядом преимуществ, связанных с точностью измерения и возможностью полного определения всех компонентов пространственных силовых характеристик. В процессе работы динамометрический рабочий орган устанавливается вместо обычного на любое почвообрабатывающее орудие. Записывают усилие в тензометрических звеньях при различных режимах работы. Установили, что блок-схема соединения тензометрических звеньев с электронными носителями обеспечивает определение параметров главного вектора и главного момента внешнего силового нагружения рабочих органов почвообрабатывающих орудий. Отметили, что тензометрические звенья жестко закреплены относительно остова почвообрабатывающего орудия. Для удобства последующей обработки результатов измерения все тензометрические звенья располагают параллельно соответствующим осям координат. Выявили, что предложенный алгоритм обработки результатов измерения усилий тензометрических звеньев позволяет определять координаты точек пересечения оси динамического винта с поверхностью рабочего органа, что важно при анализе динамики движения почвообрабатывающего агрегата и, в частности, для обеспечения устойчивости движения агрегата при выполнении технологических операций.

**Ключевые слова:** почвообработка, рабочие органы, пространственное динамометрирование, силовые эквиваленты, главный вектор и главный момент, динамический винт.

■ **Для цитирования:** Мяленко В.И., Маринов Н.А. Пространственное динамометрирование рабочих органов почвообрабатывающих агрегатов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. №5. С. 22-26.

## SPATIAL DYNAMOMETERING OF WORKING TOOLS OF AGRICULTURAL IMPLEMENTS

Myalenko V.I.\*, Dr.Sc. (Eng.);

Marinov N.A.

Kemerovo State Agricultural Institute, Markovtseva St., 5, Kemerovo, 650056, Russian Federation, \*e-mail: ksai@ksai.ru

Improvement of agricultural tools is impossible without experimental proof and assessments of demand setup while operation. Tools of agricultural machines usually have an asymmetrical geometric shape and are exposed to the spatial system without resultant force. In comparison with the known devices, the proposed scheme for spatial dynamometry has a number of advantages related to the accuracy of the measurement and the possibility of a complete determination of all components of the spatial power characteristics. During operation the dynamometer is installed instead of any usual agricultural tool. The dynamometer records the force in the strain-measuring segment at various operating modes of the agricultural tool. A block diagram of the strain-measuring segments connection with the electronic media provides the definition of the main vector parameters and the principal moment of the external force loading of agricultural machines tools. The strain-measuring segments are rigidly fixed concerning a skeleton of the soil-cultivating implement. For convenience of the subsequent processing of results of measurement all tensometric links are located parallel to the corresponding coordinate axis. The proposed algorithm for processing the results of measuring the stress of strain-measuring segment makes it possible to determine the point grid reference of the dynamic screw axis with the surface of the tool. The latter is a necessary circumstance in the analysis of the dynamics of the movement of the agricultural aggregate and, in particular, when considering of the dynamical stability of an aggregate while performing technological operations.

**Keywords:** Soil cultivation; Working tools; Spatial dynamometry; Power equivalents; the main vector and the principal moment; Dynamic screw.

**For citation:** Myalenko V.I., Marinov N.A. Spatial dynamometry of working tools of agricultural implements. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2017; 5: 22-26. DOI 10.22314/2073-7599-2018-11-5-22-26. (In Russian)

**Р**азработка новых почвообрабатывающих орудий неразрывна с техническим поиском и инженерными расчетами будущих конструкций. Технические расчеты и обоснование новых решений в большинстве своем основаны на анализе реальных нагрузок, ожидаемых в последующей эксплуатационной практике [1-2].

Как правило, при выборе новых конструкций не всегда достаточно обойтись теоретическими прогнозами. Зачастую необходимо знать реальные значения сил и моментов сил, воздействующих на рабочие органы в процессе работы. Редко когда удается обойтись экспериментальным определением только одной тяговой составляющей внешних сил сопротивления исследуемого рабочего органа или его элемента. Достоверность экспериментальных данных и их необходимая полнота снижают риски ошибок и неточностей при выборе технических решений по совершенствованию сельскохозяйственных орудий.

**Цель исследования** – изыскание конструктивной схемы устройства для пространственного динамометрирования рабочих органов почвообрабатывающих орудий.

**Материалы и методы.** Все существующее многообразие рабочих органов почвообрабатывающих орудий, используемых в современной практике, можно условно разделить по особенностям их формы расположения на две группы, одна из которых представляет собой геометрически симметричные рабочие органы, другая – несимметричные фигуры относительно направления их движения в почвенной среде. В первом случае для экспериментальных измерений применяют плоскостное динамометрирование, во втором – пространственное [3, 4]. Основной недостаток всех этих устройств связан с применением шарнирных соединений тензометрических звеньев, на которые исследуемый рабочий орган подвешивается или присоединяется с помощью дополнительных рамок и подшипников [5-7]. Шарнирное соединение тензометрического звена по условиям своего назначения предусматривает деформации и связанные с ними небольшие перемещения. Кроме этого, зазоры в сочленениях тензометрических звеньев увеличивают протяженность их перемещений при работе. Последнее обстоятельство приводит к систематическим погрешностям в измерениях [8].

В предлагаемом устройстве для пространственного динамометрирования устранены вышеотме-

ченные недостатки, так как тензометрические звенья жестко закреплены относительно остова земельного орудия. Кроме этого, для удобства последующей обработки результатов измерения все тензометрические звенья располагаются параллельно соответствующим осям координат [9-10].

На рисунке 1 показана схема устройства для пространственного динамометрирования, где тензометрические звенья 1-6 посредством кронштейнов 7 закреплены на остова земельного орудия.

Рабочий орган 8 г-образной своей стойки упирается с разных сторон в тензометрические звенья. Здесь могут испы-

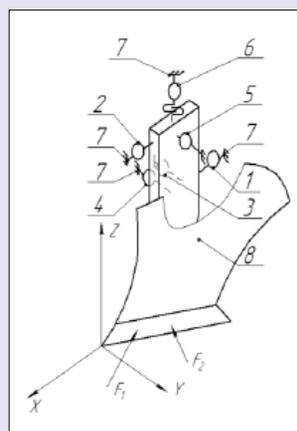


Рис. 1. Схема устройства для пространственного динамометрирования:

1-6 – тензометрические звенья; 7 – кронштейны; 8 – рабочий орган;  $F_1$ ,  $F_2$  – имитационные силы

Fig. 1. Structure diagram of the device for spatial dynamometry: 1-6 – strain-measuring segments; 7 – brackets; 8 – tool;  $F_1$ ,  $F_2$  – simulation forces

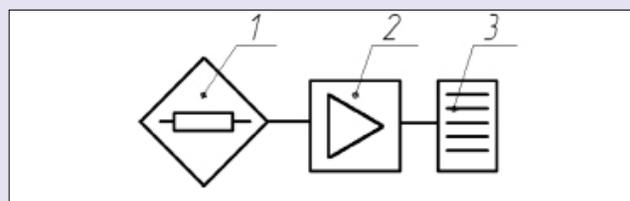


Рис. 2. Структурная схема тензометрической станции:

1 – тензодатчики сопротивления; 2 – микроЭВМ; 3 – блок информации

Fig. 2. Structural diagram of the strain-measuring station: 1 – resistance strain gauges; 2 – microcomputer; 3 – information block

тываться как симметричные, так и несимметричные рабочие органы. Усилия, регистрируемые тензометрическими звеньями, направляются в качестве электрических сигналов в блок накопителя информации или могут преобразовываться в силовые эквиваленты. На рисунке 2 изображена структурная схема тензометрической станции.

Тензометрическая станция включает в себя три главных блока: тензометрические звенья с тензо-

датчиками сопротивления, микроЭВМ и блок информации. Применительно к рисунку 1 расчетный алгоритм представляет собой следующую последовательность:

$$\left\{ \begin{aligned} P_x &= \sum_{i=1}^6 P_{xi} = P_1 - P_2; \\ P_y &= \sum_{i=1}^6 P_{yi} = P_3 + P_4 - P_5; \\ P_z &= \sum_{i=1}^6 P_{zi} = P_6; \\ M_x &= \sum_{i=1}^6 M_{xi} = P_1 h_{x1} - P_2 h_{x2} - P_3 h_{x3} + P_4 h_{x4} + P_5 h_{x5}; \\ M_y &= \sum_{i=1}^6 M_{yi} = P_1 h_{y1} - P_2 h_{y2} + P_3 h_{y3} + P_4 h_{y4}; \\ M_z &= \sum_{i=1}^6 M_{zi} = P_2 h_{z2} - P_1 h_{z1} + P_3 h_{z3} + P_4 h_{z4} - P_5 h_{z5}, \end{aligned} \right. \quad (1)$$

где  $P_1, P_2, \dots, P_6$  – усилия в соответствующих тензометрических звеньях;

$h_{x1}, h_{y2}, h_{z3}$  и т. д. – плечи действия усилий относительно соответствующих осей координат.

Достоверность экспериментальных данных и исключение погрешностей, безусловно, снижает риск ошибок и неточностей в последующих технических обоснованиях, а потому и считается основным оценочным показателем преимуществ одних измерительных устройств перед другими [11].

В настоящей работе предложен экспериментальный метод выявления систематических погрешностей измерения, основанный на имитации ожидаемых нагрузок заранее известными силами  $F_1$  и  $F_2$  (рис. 1), то есть он аналогичен специальной поверке, когда измеряемые величины заранее известны [6].

Далее, сравнивая величины главного вектора  $P$  и главного момента  $M$ , полученные из уравнений (1), с заранее заданными имитационными значениями, устанавливаем величину систематической погрешности измерения.

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.** Экспериментальные исследования проведены в Новосибирской области на тяжелых суглинистых почвах твердостью  $T = 2,4-2,7$  МПа и влажностью  $W = 17-19\%$ . Испытывали отдельно лемех  $0,545 \times 0,122$  корпуса плуга с отвальной поверхностью культурного типа. Устройство для пространственного динамометрирования снабжено двумя стойками: одну с тензометрическими звеньями присоединяли к лемеху, другую, пассивную – к отдельной от лемеха оставшейся части корпуса плуга. Исходная геометрия рабочей поверхности корпуса плуга при этом оставалась неизменной. На рисунке 3 в качестве примера изображены графически изменения проекций главного вектора и главного момента при изменении скорости движения орудия.

Как следует из графиков, при изменении скорости движения орудия от 0,9 до 3,0 м/с абсолютные величины проекций главного вектора и главного

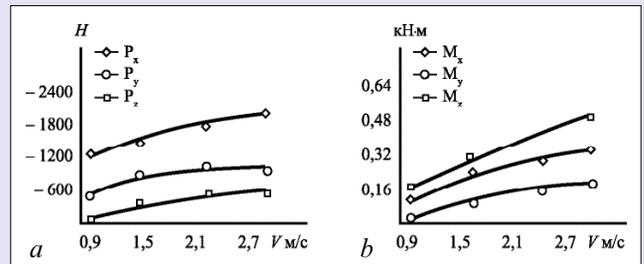


Рис. 3. Изменение проекций главного вектора (а) и главного момента (б), действующих на лемех плуга в зависимости от скорости движения орудия:

$P_x, P_y, P_z$  – проекции главного вектора;  $M_x, M_y, M_z$  – проекции главного момента;  $V$  – скорость движения орудия

Fig. 3. Influence of tool speed on the projections of the main vector (a) and the principal moment (b) acting on the plow share:

$P_x, P_y, P_z$  – projections of the principal vector;  $M_x, M_y, M_z$  – projections of the principal moment;  $V$  – tool speed

момента увеличиваются по нелинейным законам.

Однако при рассмотрении условий равновесия почвообрабатывающего орудия или его устойчивости движения, а также при выявлении наиболее нагруженных частей рабочих органов невозможно обойтись исключительно  $P$  и  $M$ . Действительно, главный вектор внешних сил сопротивления – величина инвариантная и не зависит от центра приведения, а угол между главным вектором и главным моментом изменяется в зависимости от выбранного центра приведения. В таком случае возникает «динамический винт», когда при наличии силы в плоскости, перпендикулярной ей, действует пара сил. Тогда ось динамического винта имеет вид:

$$\frac{M_x - (y P_z - z P_y)}{P_x} = \frac{M_y - (z P_x - x P_z)}{P_y} = \frac{M_z - (x P_y - y P_x)}{P_z}, \quad (2)$$

где  $x, y, z$  – текущие координаты линии.

Для определения координат точек пересечения оси динамического винта с поверхностью лемеха удобно последний задать уравнением плоскости. На рисунке 4 контуром  $A, B, C, D$  показан лемех плуга.

Исходные векторы

$$AB = (x_2 - x_1, y_2 - y_1, z_2 - z_1);$$

$$AD = (x_4 - x_1, y_4 - y_1, z_4 - z_1);$$

$$AM = (x - x_1, y - y_1, z - z_1)$$

компланарны, и уравнение плоскости будет иметь следующий вид:



$$\begin{vmatrix} x-x_1 & y-y_1 & z-z_1 \\ x_2-x_1 & y_2-y_1 & z_2-z_1 \\ x_4-x_1 & y_4-y_1 & z_4-z_1 \end{vmatrix} = 0. \quad (3)$$

Тогда совместное решение (2) и (3) как системы уравнений дает координаты  $x, y, z$ .

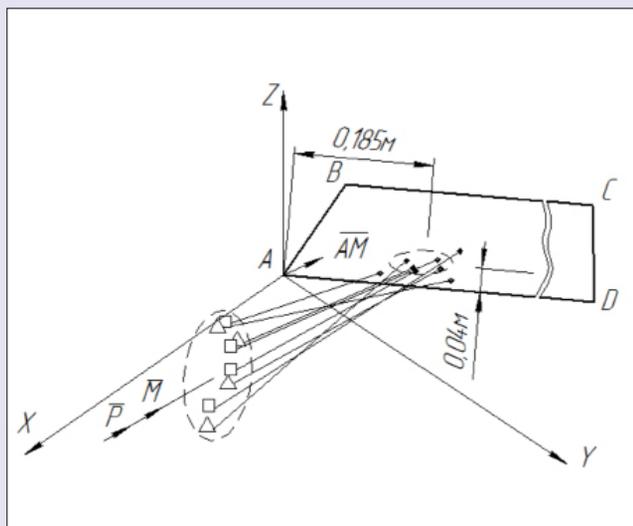


Рис. 4. Положение оси динамического винта при разных скоростях движения орудия:

$\vec{P}, \vec{M}$  – среднее положение оси динамического винта; A, B, C, D – контур лемеха

Fig. 4. Position of the dynamic screw axis at various tool speed  
 $\vec{P}, \vec{M}$  – mid position of the dynamic screw axis; A, B, C, D – share contour

Полученные координаты позволяют определить точки пересечения оси динамического винта с поверхностью лемеха. На рисунке 4 показано, что точки пересечения образуют некоторую окрестность с центром от носка лемеха на расстоянии 0,185 м и от лезвия – 0,140 м. Физический смысл этой окрестности представляет собой некий центр давления почвы на лемех. Углы наклона оси динамического винта к осям координат нетрудно определить по значениям направляющих тангенсов, то есть  $\alpha = \arctg \frac{P_y}{P_x}; \beta = \arctg \frac{P_z}{P_y}$  ( $\alpha$  и  $\beta$  – углы наклона оси динамического винта между соответствующими осями координат OY и OX; OZ и OY; а  $P_x, P_y, P_z$  – проекции главного вектора).

Динамический винт представляет собой равный по действию результат всего внешнего нагружения рабочего органа с конкретными координатами приложения силы и пары сил, которые известны по величине и направлению.

**Выводы.** Предложенная схема устройства для пространственного динамометрирования обеспечивает экспериментальное определение силовых эквивалентов внешних сил нагружения рабочих органов почвообрабатывающих орудий. Схема расположения тензометрических звеньев, регистрация их электрических сигналов на электронных носителях, а также применение уравнений (1)-(3) помогают принять обоснованные технические решения при создании новых почвообрабатывающих агрегатов.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Миронов Д.А., Лискин И.В., Сидоров С.А. Влияние геометрических параметров долота на тяговые характеристики и ресурс лемехов отечественных плугов // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2015. №6. С. 25-29.
2. Лобачевский Я.П., Старовойтов С.И., Чемисов Н.Н. Энергетическая и технологическая оценка почвообрабатывающего рабочего органа // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2015. №5. С. 10-13.
3. Дробот В.А., Тарасенко Б.Ф. Новая полевая установка для инженерной оценки почвообрабатывающих рабочих органов // Научный журнал КубГАУ. 2013. №91(07). С. 712-720.
4. Патент РФ N 2498245. Установка для объемного тензометрирования / Бартенев И.М., Лысич М.Н., Донцов И.Е. Бюл. 2013.
5. Пархоменко С.Г., Пархоменко Г.Ф. Измерение силы тяги на крюке трактора в агрегате с навесной сельскохозяйственной машиной // Тракторы и сельхозмашины. 2016. №4. С. 15-18.
6. Лобачевский Я.П., Комогорцев В.Ф., Старовойтов

- С.И., Храмовских К.А. Анализ тягового сопротивления элементов цилиндрического плужного корпуса // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2016. №2. С. 11-15.
7. Вольский В.А. Определение составляющих силы тягового сопротивления сферического дискового рабочего органа // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2014. №3. С. 35-37.
8. Мяленко В.И. Экспериментальный метод определения систематических погрешностей измерения силовых характеристик рабочих органов почвообрабатывающих орудий // Тракторы и сельхозмашины. 2014. №11. С. 42-44.
9. Мяленко В.И. Методы экспериментального определения силовых характеристик рабочих органов почвообрабатывающих орудий. Новосибирск: Новосибирский ГУ, 1991. 105 с.
10. Патент РФ № 2566398. Установка для объемного тензометрирования / Мяленко В.И. Бюл. 2015.
11. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. Ленинград: Энергоатомиздат, 1991. 304 с.

## REFERENCES

1. Mironov D.A., Liskin I.V., Sidorov S.A. Influence of geometrical parameters of chisel on traction characteristics and resource of domestic ploughshares. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2015; 6: 25-28. (In Russian)
2. Lobachevskiy Ya.P., Starovoytov S.I., Chemisov N.N. Power and technological evaluation of soil cultivating working tool. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2015; 5: 10-13. (In Russian)
3. Drobot V.A., Tarasenko B.F. New field installation for engineering assessment of soil-cultivating working tools. *Nauchnyy zhurnal KubGAU*. 2013; N91(07): 712-720. (In Russian)
4. Patent RF No 2498245 RF. Installation for volume straining testing. Bartenev I.M., Lysich M.N., Dontsov I.E. Byul. 2013. (In Russian)
5. Parkhomenko S.G., Parkhomenko G.F. Measurement of tractive effort at drawbar of tractor in unit with mounted agricultural machine. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2016; 4: 15-18. (In Russian)
6. Lobachevskiy Ya.P., Komogortsev V.F., Starovoytov S.I., Khramovskikh K.A. Analysis of tractive resistance of general plow body elements. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2016; 2: 11-15. (In Russian)
7. Vol'skiy V.A. Determination of draught resistance force components of spherical disk working element. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2014; 3: 35-37. (In Russian)
8. Myalenko V.I. Experimental method of determining the systematic errors of measurement of characteristics of power tillers of working organs. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2014; 11: 42-44. (In Russian)
9. Myalenko V.I. Metody eksperimental'nogo opredeleniya silovykh kharakteristik rabochikh organov pochvo-obrabatyvayushchikh orudiy [Methods of experimental determination of power characteristic of tillage tool]. Novosibirsk: Novosibirskiy GU, 1991: 105. (In Russian)
10. Patent RF No 2566398. Installation for volume straining testing. Myalenko V.I. Byul. 2015. (In Russian)
11. Novitskiy P.V., Zograf I.A. Otsenka pogreshnostey rezul'tatov izmereniy [Accuracy assessment of measured data]. Leningrad: Energoatomizdat, 199: 304. (In Russian)

**Критерии авторства.** Все авторы несут ответственность за представленные в статье сведения и плагиат.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution.** The authors are responsible for information and plagiarism avoiding.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

