

## ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)

Научная статья  
УДК 631.312.244  
DOI: 10.53914/issn2071-2243\_2021\_4\_30

### Полевые испытания плуга со спонтанно вибрирующими рабочими корпусами

Владимир Васильевич Василенко<sup>1</sup>, Сергей Владимирович Василенко<sup>2</sup>✉

<sup>1,2</sup>Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия

<sup>2</sup>tuli-fruli@mail.ru✉

**Аннотация.** Основная обработка почвы методом отвальной вспашки очень энергоемка и требует улучшения технологического процесса и конструкции рабочих органов. Вибрация рабочих корпусов плуга существенно облегчает их тяговое сопротивление, поэтому является перспективным направлением научных исследований. Среди всех методов возбуждения вибрации наиболее простым и экономным по затратам энергии является спонтанная вибрация, причем направление колебаний не должно совпадать с направлением движения агрегата. Для количественной оценки эффекта снижения силы тягового сопротивления были проведены полевые опыты с навесным плугом, у которого все четыре рабочих корпуса имели стойки, составленные из вибрирующих в поперечном направлении полос. Варьируемыми факторами были глубина обработки почвы и число полос в каждой стойке, которое изменяло момент инерции сечения стойки. В опытах измерялся коэффициент буксования колес трактора, и по его значению определялось тяговое сопротивление плуга. Обработка результатов измерений проводилась по методу полного двухфакторного эксперимента. Они сравнивались с показателями базового плуга, у которого рабочие корпуса имели жесткие стойки без вибрации. Доминирующим фактором полученной эмпирической зависимости является глубина вспашки. Момент инерции поперечного сечения стоек является незначимым фактором и лишь указывает на тенденцию слабого уменьшения силы сопротивления плуга с увеличением числа вибрирующих полос в каждой стойке. Во всех комбинациях численного значения факторов наблюдалось уменьшение силы тягового сопротивления экспериментального плуга по отношению к базовому плугу. Сила сопротивления уменьшается на 13,5–14,5%, а коэффициент буксования колес трактора – в среднем на 25%.

**Ключевые слова:** вибрация рабочих корпусов, глубина вспашки, момент инерции сечения, двухфакторный эксперимент, сопротивление плуга

**Для цитирования:** Василенко С.В., Василенко В.В. Полевые испытания плуга со спонтанно вибрирующими рабочими корпусами // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2021. Т. 14, № 4(71). С. 30–38. [https://doi.org/10.53914/issn2071-2243\\_2021\\_4\\_30](https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2021_4_30)–38.

## TECHNOLOGIES AND MECHANICAL MEANS IN AGRICULTURE (ENGINEERING SCIENCES)

Original article

### Field tests of a plough with spontaneously vibrating working bodies

Vladimir V. Vasilenko<sup>1</sup>, Sergey V. Vasilenko<sup>2</sup>✉

<sup>1,2</sup>Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia

<sup>2</sup>tuli-fruli@mail.ru✉

**Abstract.** Basic soil cultivation by the method of mouldboard plowing is very energy-intensive and requires further improvement of the technological process and the design of the working bodies. The vibration of the working bodies of the plough significantly reduces plowing resistance, therefore it is a promising area of scientific research. Among all methods of vibration excitation, spontaneous vibration is the most common and most energy-efficient, and the direction of vibration should not coincide with the direction of the unit movement. To quantify the effect of reducing plowing resistance, field experiments were conducted with a mounted plough, in which all four working bodies had furrows made up of strips vibrating in the transverse direction. The varying factors were the depth of tillage and the number of strips in each shank, which changed the moment of inertia of shank section. In the experiments, the coefficient of slipping of tractor wheels was measured, and by its value plowing resistance was determined. The processing of the measurement results was carried out by the method of a complete two-factor experiment. They were compared with the indicators of the basic plough, in which the working bodies had rigid shanks without vibration. The dominant factor of the empirical dependence obtained is the depth of plowing. The moment of inertia of the cross-section of shanks, is an insignificant factor and only indicates a tendency for a

slight decrease in the resistance force of the plough with an increase in the number of vibrating strips in each shank. In all combinations of the numerical values of the factors, there was a decrease in plowing resistance of the experimental plough relative to the basic plough. Resistant force decreases by 13.5–14.5%, and the coefficient of tractor wheels slipping by an average 25%.

**Keywords:** vibration of working bodies, plowing depth, moment of inertia of the section, two-factor experiment, plowing resistance

**For citation:** Vasilenko V.V., Vasilenko S.V. Field tests of a plough with spontaneously vibrating working bodies. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2021;14(4):30-38. (In Russ.). [https://doi.org/10.53914/issn2071-2243\\_2021\\_4\\_30-38](https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2021_4_30-38).

## **В**ведение

Одним из направлений совершенствования плугов является применение вибрации рабочих органов. Особенно эффективной является высокочастотная вибрация с малой амплитудой, измеряемой долями миллиметра [5, 6]. Такая вибрация активизирует контактирующие с рабочим органом слои почвы, нарушает взаимные связи почвенных частиц и способствует их взаимному перемещению, в чем и состоит рыхление. В результате колебаний рабочего органа происходит сползание налипшей почвы, нависших сорняков и, как следствие, уменьшение коэффициента трения лемехов и отвалов о почву, заметно снижается тяговое сопротивление плуга [7]. При таких микроколебаниях направление вибрации не имеет существенного влияния в отличие от спонтанных или принудительных колебаний с амплитудой от одного до 5-8 миллиметров и низкой частотой в пределах до десяти Герц или немногим более [1, 12]. При выборе способа возбуждения вибрации надо иметь в виду, что высокочастотные микроколебания требуют сложного и дорогого оборудования.

Способы принудительной низкочастотной вибрации в патентной литературе предлагаются редко [8], из-за того, что общие затраты энергии на привод вибраторов и на создание силы тяги превышают затраты энергии на работу без вибрации. Спонтанная вибрация подпружиненных рабочих органов применяется гораздо чаще [2, 3, 4], так как она не требует дополнительных затрат энергии. Однако эффективность спонтанной вибрации с продольным направлением колебаний мала, так же как у спонтанных колебаний невысокая виброскорость, которая для положительного эффекта должна превышать скорость движения агрегата [1]. Поэтому рациональной является конструкция пружинистой стойки рабочего корпуса, которая собрана из полос, ориентированных по ходу движения плуга. В этом случае рабочий корпус получает поперечные колебания, при которых виброскорость необязательно должна быть больше скорости движения плуга. Экспериментальный плуг с такой конструкцией стоек был испытан в полевых условиях с целью получения эмпирической зависимости силы тягового сопротивления от глубины вспашки и жесткости стоек по отношению к боковым силам со стороны почвенных пластов. Целью было также определение эффективности вибрации по снижению тягового сопротивления в сравнении с базовой моделью.

## **Материалы и методы**

Экспериментальные исследования проводились в полевых условиях на территории одного из хозяйств Бутурлиновского района Воронежской области. Характеристика почвы приведена в таблице 1.

Испытуемый агрегат состоял из трактора Т-150К и экспериментального плуга, который можно классифицировать как модель ПП-4(+1)-45, поскольку он был полунавесным с пятью рабочими корпусами, из них один съемный, ширина захвата одного корпуса равна 45 см. Главной отличительной особенностью были рабочие корпуса, установленные на вибрирующих стойках, снабженные развитыми углоснимками и вертикальными ножами вдоль полевых обрезов (рис. 1). Пониженный до 20° угол подъема лемехов вдоль направления движения и применение полосовых отвалов добавляли общую картину конструктивных отличий, которые были направлены на уменьшение тягового сопротивления.

Таблица 1. Почвенные условия полевых испытаний плуга с вибрирующими корпусами

Показатели	Значение показателей
Тип почвы	Выщелоченный чернозем
Рельеф	Ровный
Микрорельеф	Выровненный
Состояние поверхности	Взлущенная стерня, падалица пшеницы высотой до 10 см
Длина гона, м	2300 м
Влажность почвы по слоям, %	
0–10 см	9
10–20 см	14
20–30 см	17
Твердость почвы по слоям, МПа	
0–10 см	0,32
10–20 см	0,74
20–30 см	0,86
Масса растительных остатков, г/м <sup>2</sup>	11

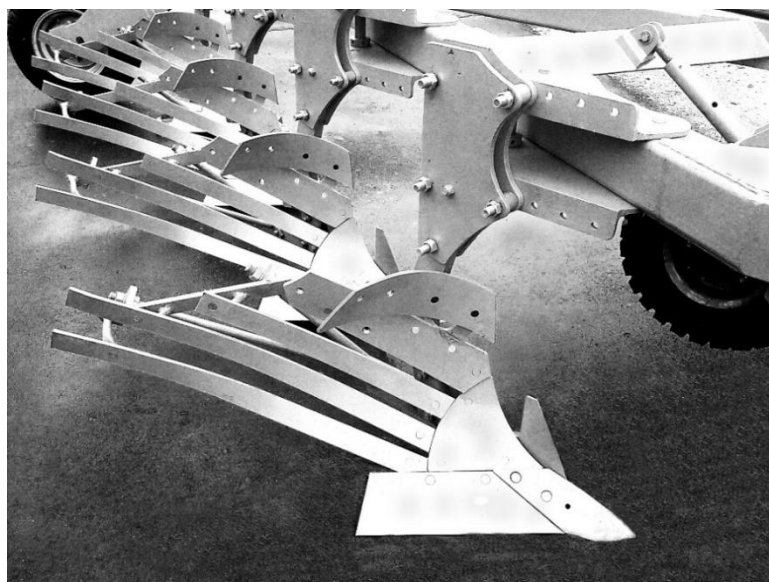


Рис. 1. Рабочие корпуса экспериментального плуга

У плуга было высокое и свободное подрамное пространство, рабочие корпуса вынесены в сторону от главной балки, отсутствовали предплужники, и все это повышало эксплуатационную надежность, так как под рамой не было препятствий для прохождения почвенных пластов, и плуг не забивался даже при встрече с утерянными стеблями кукурузы или подсолнечника. Во время экспериментов плуг работал с четырьмя корпусами, рабочая ширина захвата составляла 1,8 метра. Полунавесной вариант конструкции плуга был принят ради того, чтобы во время дальних переездов агрегата по пересеченной местности он не так сильно, как навесные плуги, нагружал раму трактора на ухабистых дорогах.

На экспериментальном плуге стойки рабочих корпусов были составлены из плоских полос, ориентированных по направлению движения [10]. Каждая полоса имела прямоугольное сечение с размерами  $120 \times 10 \text{ мм}^2$  и участок изгиба длиной 500 мм. Число полос в каждой стойке варьировало от трех до пяти. Момент инерции сечения стойки рассчитывался как сумма моментов инерции отдельных полос.

Базовый агрегат состоял из такого же трактора Т-150К и серийного плуга ПЛН-5-35 с пятью рабочими корпусами и общей шириной захвата 1,75 м.

Оба агрегата работали на одном и том же поле. Глубина обработки устанавливалась от 18 до 30 сантиметров с шагом четыре сантиметра, а число полос в стойках изменялось от трех до пяти. По каждой комбинации факторов число параллельных опытов равнялось трем. Во время опытов измерялось буксование ведущих колес тракторов, и коэффициент буксования вычислялся по формуле

$$\delta = 1 - \frac{L}{\pi Dm},$$

где  $\delta$  – коэффициент буксования;

$L$  – зачетный участок измерения, м;

$D$  – диаметр колеса трактора, м;

$m$  – число оборотов колеса на зачетном участке.

В данном случае коэффициент буксования служил промежуточным показателем для определения силы тягового сопротивления плуга по тяговой характеристике трактора [11]. Непосредственные измерения силы тяги навесного или полунавесного орудия сопряжены с техническими трудностями по применению специализированной прицепной тележки с гидрофицированным навесным устройством. Что касается показателей твердости и влажности почвы, то они не определяют численного значения удельного сопротивления почвы. По ним можно судить лишь о тенденции его изменения. Твердость почвы, измеряемая твердомером, на порядок выше удельного сопротивления смятию, применяемого при расчете тягового сопротивления плуга, так как условия внедрения в почву пуансона и рабочего корпуса плуга резко различаются. Пуансон полностью сминает лежащий под ним слой и вдавливают его в охватывающую со всех сторон нетронутую почву. Плужный рабочий корпус имеет режущие кромки, они отрезают пласт, а вся рабочая поверхность лишь отталкивает отрезанный пласт в свободное пространство, сминая его лишь частично.

#### Результаты и их обсуждение

План полного двухфакторного эксперимента включал определение тягового сопротивления плуга в качестве выходного параметра, или функции отклика  $y$ , а также факторы момента инерции  $x_1$  поперечного сечения вибрирующих стоек рабочих корпусов и глубины вспашки  $x_2$ .

Факторы в эксперименте принимали следующие значения:

$$x_1: J = (4 \pm 1) \text{ см}^4;$$

$$x_2: a = (24 \pm 6) \text{ см}.$$

Линейная эмпирическая зависимость имеет вид

$$y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2, \tag{1}$$

где  $y$  – функция отклика;

$b_0, b_1, b_2$  – коэффициенты уравнения регрессии;

$X_1, X_2$  – кодовые значения факторов.

Результаты опытов по определению тягового сопротивления вибрирующего плуга приведены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты опытов

Номер опыта	Исходные значения		Кодовые значения		Сопротивление плуга в параллельных измерениях			Средние значения $P, \text{Н}$
	$J, \text{см}^4$	$a, \text{см}$	$X_1$	$X_2$	$y: P, \text{Н}$			
1	3	18	-	-	14 220	14 650	16 037	14 969
2	5	30	+	+	26 105	24 065	24 980	25 050
3	5	18	+	-	15 018	14 532	13 413	14 321
4	3	30	-	+	25 405	24 547	26 548	25 500

Проверка воспроизводимости опытов по критерию Кохрена [9], который оценивает однородность дисперсий выходного параметра  $y$  у параллельных измерений, про-

ведена при уровне доверительной вероятности  $P_G = 0,95$ . Однородность дисперсий рассчитывается как отношение максимальной дисперсии к их сумме:

$$G_p = \frac{S_{\max}^2}{\sum_{k=1}^N S_k^2},$$

где  $G_p$  – расчетное значение критерия Кохрена;

$S_{\max}^2$  – максимальное значение дисперсий,  $H^2$ ;

$S_k^2$  – дисперсии параллельных измерений;

$N$  – число опытов.

Расчетное значение критерия Кохрена  $G_p = 0,288$  оказалось меньше табличного  $G_T = 0,770$ , следовательно, дисперсии измерений однородны, а сами опыты воспроизводимы.

Коэффициенты уравнения (1) были рассчитаны с использованием данных таблицы 2 по выражению

$$b_i = \frac{1}{N} \cdot \sum_{k=1}^N X_{ik} \cdot \bar{y}_k; \quad i = 0, \dots, n, \quad (2)$$

где  $b_i$  – коэффициенты уравнения регрессии;

$X_{ik}$  – кодовые значения факторов по каждому опыту;

$\bar{y}_k$  – среднее значение функции отклика в каждом из  $N$  опытов;

$n$  – число факторов, включая свободный член уравнения.

Полученные значения коэффициентов:

$$b_0 = 19\,960;$$

$$b_1 = -275; \quad b_2 = 5\,315.$$

Значимость каждого коэффициента определяли по  $t$ -критерию Стьюдента и сравнивали с его расчетным значением

$$t_p = \frac{|b_i| \cdot \sqrt{N}}{S_y},$$

где  $|b_i|$  – модули коэффициентов;

$S_y$  – среднеквадратичное отклонение функции отклика, которое вычисляется по средней дисперсии параллельных измерений  $S_k^2$ , поделенной на число измерений в каждом опыте.

Критическое значение  $t$ -критерия при доверительной вероятности  $P_t = 0,975$  и числе степеней свободы  $f = 4 \cdot (3 - 1) = 8$  определили по таблицам как  $t_T = 2,31$ . Значимыми оказались коэффициенты  $t_{p0} = 72,6 > 2,31$  и  $t_{p2} = 19,33 > 2,31$ . У первого коэффициента расчетный критерий  $t_{p1} = 1$  оказался меньше критического, поэтому первый критерий признан незначимым. Однако для представления о тенденции его влияния на эмпирическую зависимость искомой функции (1) приведем полный вид уравнения регрессии в кодовых переменных:

$$y = 19\,960 - 275X_1 + 5\,315X_2. \quad (3)$$

В дальнейших преобразованиях уравнения (3) коэффициенты, вычисленные по выражению (2), и факторы преобразованы из кодовых безразмерных в натуральные с использованием их взаимозависимости:

$$X_i = \frac{x_i - x_i^0}{\Delta x_i}, \quad (4)$$

где  $x_i$  – натуральный фактор;

$x_i^0$  – среднее значение натурального фактора;

$\Delta x_i$  – шаг изменения натурального фактора.

Уравнение (4) приобретает промежуточный вид

$$P = 19969 - 275 \cdot \frac{J - 4}{1} + 5315 \cdot \frac{a - 24}{6}$$

и окончательно

$$P = 886a - 275 \cdot J - 191, \quad (5)$$

где  $P$  – тяговое сопротивление плуга, Н;

$a$  – глубина вспашки, см;

$J$  – момент инерции поперечного сечения стойки, см<sup>4</sup>.

Проверка пригодности уравнения (5) к использованию проведена по критерию Фишера

$$F_P = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2},$$

где  $F_P$  – критерий адекватности по Фишеру;

$S_{ad}^2$  – дисперсия адекватности;

$S_y^2$  – дисперсия средних значений функции отклика.

Дисперсию адекватности вычисляли по выражению

$$S_{ad}^2 = \frac{1}{f_{ad}} \cdot \left( \sum_{k=1}^N \bar{y}_k^2 - N \cdot \sum_{i=1}^n b_i^2 \right),$$

где  $f_{ad}$  – число степеней свободы дисперсии адекватности;

$$f_{ad} = N - (n + 1) = 4 - (2 + 1) = 1.$$

В результате расчетов оказалось:

$$S_{ad}^2 = 8\,702;$$

$$S_y^2 = 302\,578;$$

$$F_P = 0,0288.$$

Табличное значение критерия Фишера определяли с учетом допустимой вероятности  $P_f = 0,95$  и числа степеней свободы числителя  $f_{ad} = 1$  и знаменателя  $f = 8$ . По таблице критическое значение критерия Фишера:  $F_T = 5,32$ . Расчетное значение значительно меньше табличного, следовательно, выражения (3) и (5) адекватно описывают полученные экспериментальные данные.

По результатам полного двухфакторного эксперимента построена поверхность отклика (рис. 2), по которой видно доминирующее влияние глубины вспашки на тяговое сопротивление экспериментального плуга.

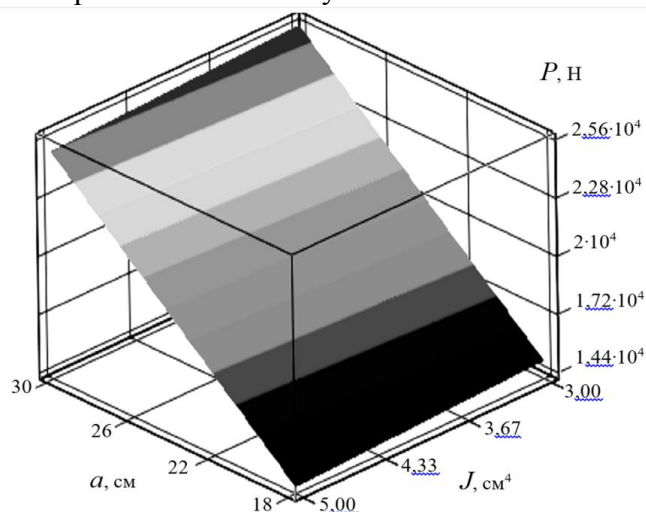


Рис. 2. Зависимость тягового сопротивления плуга от глубины вспашки и момента инерции сечений вибрирующих стоек рабочих корпусов

В пределах исследованного диапазона глубины вспашки от 18 до 30 сантиметров и момента инерции поперечного сечения стоек рабочих корпусов от 3 до 4 см<sup>4</sup> зависимость может быть аппроксимирована линейной функцией. Учитывая незначительность влияния момента инерции сечения стоек, их можно собирать в пакеты из четырех полос, что соответствует требованию прочности при вспашке на максимально допустимую по агротехнике глубину. Для количественной оценки влияния вибрации на тяговое сопротивление были поставлены на этом же поле опыты по определению тягового сопротивления серийного плуга без вибрации рабочих органов. Из трехмерного графика на рисунке 2 выделено сечение по плоскости  $J = 4 \text{ см}^4$  и представлено на рисунке 3 в виде кривой  $P_{расч}$ . Аналогичные данные для серийного плуга представлены на рисунке 4. По опытным данным оказалось, что спонтанная вибрация рабочих органов уменьшает тяговое сопротивление плуга на 13,5–14,5%, а коэффициент буксования колес трактора – в среднем на 25%.

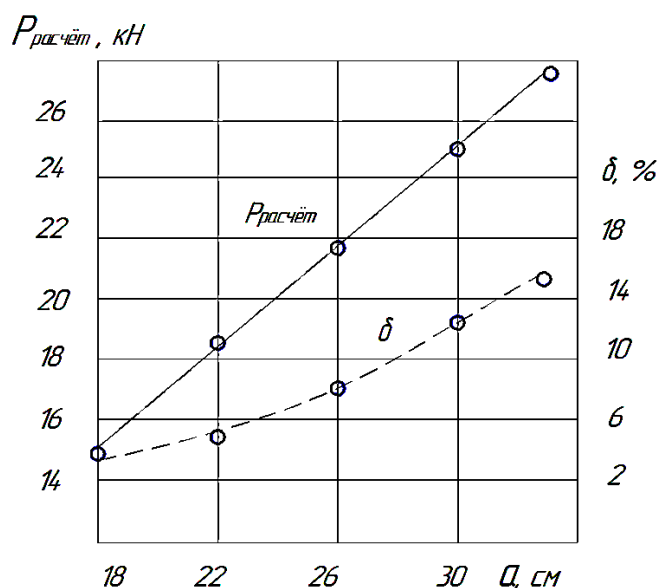


Рис. 3. Влияние глубины вспашки вибрирующим плугом на его тяговое сопротивление и коэффициент буксования колес трактора при  $J = 4 \text{ см}^4$  (экспериментальные данные)

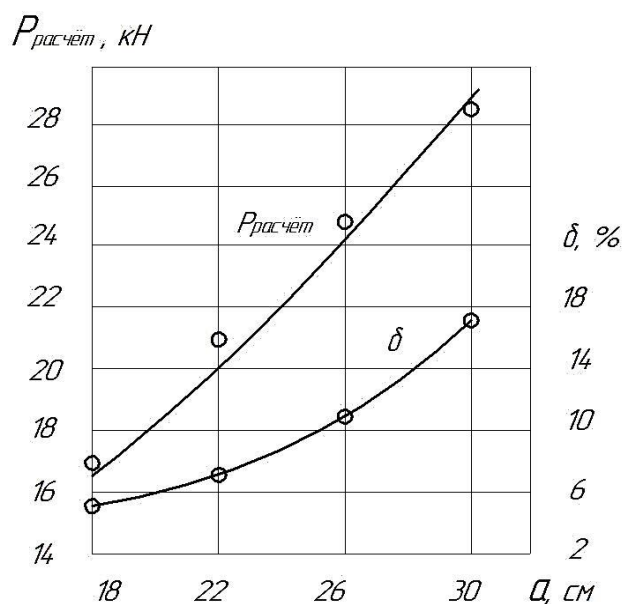


Рис. 4. Влияние глубины вспашки серийным плугом на его тяговое сопротивление и коэффициент буксования колес трактора (экспериментальные данные)

### Выводы

В результате полевых опытов получена двухфакторная эмпирическая зависимость силы тягового сопротивления экспериментального плуга со спонтанно вибрирующими рабочими корпусами от глубины вспашки и момента инерции поперечного сечения вибрирующих стоек.

Эмпирическая функция обладает адекватностью с вероятностью 0,95.

Доминирующим фактором является глубина вспашки.

Момент инерции поперечного сечения стоек является незначимым фактором и лишь указывает на тенденцию слабого уменьшения силы сопротивления плуга с увеличением числа вибрирующих полос в каждой стойке.

Во всех комбинациях численного значения факторов и повторностям параллельных измерений наблюдалось уменьшение силы тягового сопротивления экспериментального плуга по отношению к базовому плугу с жестко закрепленными рабочими корпусами. Сопротивление плуга уменьшается на 13,5–14,5%, а коэффициент буксования колес трактора – в среднем на 25%.

---

---

### Библиографический список

1. Василенко В.В., Афоничев Д.Н., Василенко С.В., Тимофеев И.Ю. Обоснование направления вибрации почвообрабатывающего рабочего органа // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2017. № 4(55). С. 134–139. DOI: 10.17238/issn2071-2243.2017.4.134.
2. Вибрационный глубокорыхлитель почвы: пат. 2449522 Рос. Федерация. № 2010128595/13, заявл. 09.07.2010, опубл. 20.01.2012, Бюл. № 13. 7 с.
3. Культиватор на упругих стойках: пат. 2382538 Рос. Федерация. № 2008117945/12, заявл. 04.05.2008, опубл. 27.02.2010, Бюл. № 6. 4 с.
4. Культиватор: пат. 2276491 Рос. Федерация. № 2003120295/12, заявл. 02.07.2003, опубл. 20.05.2006, Бюл. № 14. 3 с.
5. Мяло В.В., Мазуров В.В. Энергосберегающие технологии при обработке почвы // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2016. № 3 (23). С. 242–244.
6. Навесной тракторный плуг: пат. 2084091 Рос. Федерация. № 95103601/13, заявл. 14.03.1995, опубл. 20.07.1997, Бюл. № 20. 3 с.
7. Общие сведения о вибрации [Электронный ресурс]. URL: <http://mydocx.ru/11-59104.html> (дата обращения: 21.07.2021).
8. Рабочий орган культиватора: пат. 2428825 Рос. Федерация. № 2009136304/21, заявл. 30.09.2009, опубл. 20.09.2011, Бюл. № 26. 5 с.
9. Табличные значения критериев [Электронный ресурс]. URL: <http://files.khadi.kharkov.ua/item/download> (дата обращения: 20.06.2021).
10. Тимошенко Ф.А., Василенко В.В., Василенко С.В. Вибрирующая стойка рабочего корпуса плуга // Молодежный вектор развития аграрной науки: материалы 67-й студенческой научной конференции. Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2016. Ч. II. С. 289–293.
11. Тяговые характеристики сельскохозяйственных тракторов. Альбом-справочник. Москва: Россельхозиздат, 1979. 240 с.
12. Федоренко И.Я. Теория взаимодействия вибрационных рабочих органов с почвой // Тракторы и сельхозмашины. 2016. № 3. С. 15–19.



---

## References

1. Vasilenko V.V., Afonichev D.N., Vasilenko S.V., Timofeev I.Yu. Obosnovanie napravleniya vibratsii pochvoobrabatyvayushchego rabocheho organa [Substantiation of the direction of vibration of soil-tilling working body. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2017;4(55):134-139. DOI: 10.17238/issn2071-2243.2017.4.134. (In Russ.).
2. Vibracionnyj glubokorykhritel' pochvy [Vibratory sub-soil cultivator]: patent 2449522 Ros. Federatsiya. № 2010128595/13, zayavleno 09.07.2010, opublikovano 20.01.2012, Byul. № 13 = Patent 2449522 Russian Federation. No. 2010128595/13; claimed 09.07.2010; published 20.01.2012, Bulletin 13. 7 p. (In Russ.).
3. Kul'tivator na uprugikh stojkakh [Cultivator with elastic plow body legs]: patent 2382538 Ros. Federatsiya. № 2008117945/12; zayavleno 04.05.2008; opublikovano 27.02.2010, Byul. № 6 = Patent 2382538 Russian Federation. No. 2008117945/12; claimed 04.05.2008; published 27.02.2010, Bulletin 6. 4 p. (In Russ.).
4. Kul'tivator [Cultivator]: patent 2276491 Ros. Federatsiya. № 2003120295/12; zayavleno 02.07.2003; opublikovano 20.05.2006, Byul. № 14 = Patent 2276491 Russian Federation. No. 2003120295/12; claimed 02.07.2003; published 20.05.2006, Bulletin 6. 3 p. (In Russ.).
5. Myalo V.V., Mazurov V.V. Energoberegayushchie tekhnologii pri obrabotke pochvy [Energy-saving technologies in soil treatment]. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Omsk State Agrarian University*. 2016;3(23):242-244. (In Russ.).
6. Navesnoj traktornyj plug [Tractor-mounted cultivator]: patent 2084091 Ros. Federatsiya. № 95103601/13; zayavleno 14.03.1995; opublikovano 20.07.1997, Byul. № 20 = Patent 2084091 Russian Federation. No. 2003120295/12; claimed 14.03.1995; published 20.07.1997, Bulletin 20. 3 p. (In Russ.).
7. Obshchie svedeniya o vibratsii [General information about vibration]. URL: <http://mydocx.ru/11-59104.html>. (In Russ.).
8. Rabochij organ kul'tivatora [Cultivator's tillage tool]: patent 2428825 Ros. Federatsiya. № 2009136304/21; zayavleno 30.09.2009; opublikovano 20.09.2011, Byul. № 26 = Patent 2428825 Russian Federation. No. 2009136304/21; claimed 30.09.2009; published 20.09.2011, Bulletin 26. 5 p. (In Russ.).
9. Tablichnye znacheniya kriteriev [Tabulated values of criteria]. URL: <http://files.khadi.kharkov.ua/item/download>. (In Russ.).
10. Timoshenko F.A., Vasilenko V.V., Vasilenko S.V. Vibriruyushchaya stojka rabocheho korpusa pluga [Vibrating rack of the working body of the plow]. *Molodezhnyj vektor razvitiya agrarnoj nauki: materialy 67-j studencheskoj nauchnoj konferentsii = Youth vector of development of agrarian science: proceedings of the 67th student scientific conference*. Voronezh: Voronezh State Agrarian University Press, 2016. Part II. P. 289-293. (In Russ.).
11. Tyagovye kharakteristiki sel'skokhozyajstvennykh traktorov. Al'bom-spravochnik [Pull characteristics of agricultural tractors. Album-Manual]. Moscow: Rossel'khozizdat Press, 1979. 240 p. (In Russ.).
12. Fedorenko I.YA. Teoriya vzaimodejstviya vibratsionnykh rabochikh organov s pochvoj [Theory of interaction between vibratory tillage tools and soil]. *Traktory i sel'hozmashiny = Tractors and Agricultural Machinery*. 2016;(3):15-19. (In Russ.).

---

## Информация об авторах

В.В. Василенко – доктор технических наук, профессор кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», [vladva.vasilenko@yandex.ru](mailto:vladva.vasilenko@yandex.ru).

С.В. Василенко – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной механики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», [tuli-fruli@mail.ru](mailto:tuli-fruli@mail.ru).

## Information about the authors

V.V. Vasilenko, Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, [vladva.vasilenko@yandex.ru](mailto:vladva.vasilenko@yandex.ru).

S.V. Vasilenko, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Applied Mechanics, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, [tuli-fruli@mail.ru](mailto:tuli-fruli@mail.ru).

Статья поступила в редакцию 10.10.2021; одобрена после рецензирования 18.11.2021; принята к публикации 20.11.2021.

The article was submitted 10.10.2021; approved after revision 18.11.2021; accepted for publication 20.11.2021.

© Василенко В.В., Василенко С.В., 2021