

УДК: 631.316:57.24

UDC: 631.316:57.24

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ РАЗМЕРНОСТЕЙ И ПОДОБИЯ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ МАШИН ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

APPLICATION DIMENSIONAL AND SIMILARITY THEORY IN DETERMINING THE PARAMETERS AND OPERATING MODES OF SOIL CULTIVATING MACHINES

Щиоров Владимир Николаевич

Shhirov Vladimir Nikolaevich

Канд. техн. наук доцент

Cand.Tech.Sci. assistant professor

e-mail: 1956shirovv@mail.ru

e-mail: 1956shirovv@mail.ru

РИНЦ SPIN-код= 6294-1023

SPIN-code= 6294-1023

*Азово – Черноморский инженерный институт
ФГБОУ ВПО «Донской государственный аграрный
университет» (АЧИИ ФГБОУ ВПО ДГАУ)
347740, г. Зерноград, Ростовская область, Россия*

*Azov-Black Sea engineering institute of the Don state
agrarian university, Zernograd, Rostov region, Russian
Federation*

Пархоменко Галина Геннадьевна

Parhomenko Galina Gennad'evna

Канд. техн. наук

Cand.Tech.Sci.

РИНЦ SPIN-код= 6048 – 2834

SPIN-code= 6048 - 2834

*ФГБНУ Северо – Кавказский научно – исследова-
тельский институт механизации и электрифика-
ции сельского хозяйства (ФГБНУ СКНИИМЭСХ)
347740, Ростовская область, г. Зерноград, Россия*

*North - Caucasian Scientific - Research Institute of
mechanization and electrification of agriculture,
Zernograd, Rostov region, Russian Federation*

В статье представлено исследование параметров и режимов работы машин для обработки почвы. При определении параметров и режимов работы машин для обработки почвы применялась теория размерностей и подобия физических величин. Получили закономерности, раскрывающие взаимосвязь параметров, режимов со свойствами среды с энергетическими показателями процесса. В качестве исходных данных использовали протоколы испытаний машин для обработки почвы (Центрально – Чернозёмная, Кубанская, Сибирская, Северо – Кавказская МИС, РосНИИТиМ): КПЭ – 3,8, АПК – 3,9, АКВ – 4, АКМ – 6 – V, АМП – 4, АПК – 4 А, АПК – 10, АПР – 4,4, АПУ – 6,5, АПШ – 6, КНК – 6,0, КСТ – 3,8, АПК – 4. Определили формулы размерностей параметров и режимов работы машин для обработки почвы и свойств почвы (тяговое сопротивление, глубина, ширина захвата, скорость, твёрдость почвы, ускорение). На основании теории размерностей получили критерии подобия. На основании корреляционного анализа и метода наименьших квадратов определили характер зависимости и коэффициенты к ней. Получили график для определения режимов работы и параметров машин для обработки почвы

The article presents a study of parameters and modes of operation of machines for soil cultivation. In determining the parameters and modes of operation of machinery for tillage we have applied the theory of similarity and dimensions of physical quantities. We have obtained the regularities of disclosing the relationship of the parameters from the medium to the energy characteristics of the process. As the initial data we used test protocols of machines for soil cultivation (Central - Black Earth, Kubanskaya, Sibirskaaya, of North - Caucasian MIS, RosNIITiM) : KPI - 3.8, APC - 3.9, AKV - 4, AKM - 6 - V, AMP - 4 APC - 4 A, APC - 10 APR - 4.4, APU - 6.5 APSH - 6 , CNC - 6.0, CST - 3.8, APC - 4. We defined the formula of dimension parameters and modes of operation of machines for soil cultivation and properties of soil (traction resistance, depth, width, speed, hardness of the soil, acceleration). Based on dimension theory we have received similarity criteria. Based on the correlation analysis and the least squares method we determined the nature of addiction and the coefficients for it. We have also received a graph for determining the operating modes and parameters of machines for soil cultivation

Ключевые слова: ТЕОРИЯ РАЗМЕРНОСТЕЙ И ПОДОБИЯ, ОБРАБОТКА ПОЧВЫ, ПАРАМЕТРЫ И РЕЖИМЫ, ТВЁРДОСТЬ, ТЯГОВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

Keywords: DIMENSIONAL AND SIMILARITY THEORY, SOIL TILLAGE, PARAMETERS AND OPERATING MODES, HARDNESS, TRACTION RESISTANCE

В зоне недостаточного и неустойчивого увлажнения основная задача обработки почвы заключается в создании оптимальных условий для максимального накопления запасов влаги и предотвращения непродуктивного ее расхода [1, 2]. Сокращение непродуктивных потерь влаги достигается целостной системой мер, к которой относятся влагосберегающие и почвозащитные агротехнические приемы и технологии.

В решении практических задач по разработке комплекса мер, направленных на сохранение и повышения плодородия почв, важную роль играют расчётные методы, основанные на результатах исследований процессов взаимодействия рабочих органов с почвой и обусловленных её свойствами. При испытаниях машин и экспериментальных исследованиях процессов взаимодействия рабочих органов с почвой часто применяется метод динамометрирования. Однако применение этого метода ограничено конкретными условиями испытаний. В частности, сравнение тягового сопротивления ряда различных машин необходимо осуществлять при однообразных почвенных условиях, т.е. бесконечно большое число опытов необходимо провести в ограниченные сроки. Если однообразие почвенных условий не удаётся обеспечить, необходимо вводить поправочный коэффициент, точно определить который не представляется возможным. С помощью моделирования в системном анализе можно определить зависимость, связывающую тяговое сопротивление машин с физико-механическими свойствами почвы, с параметрами и режимами работы. Таким образом, поправочный коэффициент, учитывающий физико-механические свойства почвы, будет уже включён в зависимость и можно будет определить тяговое сопротивление машин в различных условиях, при этом значительно сократив объём экспериментальных исследований.

Практика исследования технологических процессов и рабочих органов почвообрабатывающих машин приводит к выводу о целесообразности отказа от принципов полного конструктивного подобия модели. Достаточно

соблюдать аналогию основных показателей технологического процесса.

В настоящее время известно довольно много различных методов, приемов и подходов, которые могут быть отнесены с различной степенью условности к так называемому фракционному (частичному) анализу, в том числе метод π -теоремы (размерности физических величин), метод подобия и метод использования основных уравнений [3, 4].

В методе π -теоремы (размерностей) необходимые данные состоят из перечня существенных физических величин, включая одну зависимую и достаточное количество независимых. Лишь с помощью этого метода можно весьма эффективно рассмотреть размерности, однородность размерностей и другие основные понятия, используемые при математическом моделировании процессов. Существенное значение π -теоремы заключается в возможности распространения результатов экспериментального или аналитического исследования по получению конкретного процесса наряду подобных ему. При этом необходимо учитывать ограничения на пределы существенности и постоянства критериев (безразмерных комплексов), определяющих протекание исследуемого процесса. π -теорема позволяет находить критериальное уравнение, не имея математической модели процесса, основываясь только на анализе известных величин, определяющих процесс, и их размерности [5, 6].

Анализ размерностей позволяет определить критерии подобия без знания математической зависимости между физическими величинами изучаемого процесса. Любое имеющее смысл соотношение, описывающее физический процесс, может предполагаться размерно-однородным. Таким образом, все члены уравнения имеют одинаковую размерность, а входящие в них параметры представляют собой только произведение независимых размерностей в некоторых степенях.

Тяговое сопротивление почвообрабатывающих машин P_m можно

представить функциональной зависимостью:

$$P_T = f(a, B, v, H, g), \quad (1)$$

где a – глубина обработки, м;

B – ширина захвата машины, м;

v – скорость агрегата, м/с;

H – твёрдость почвы, Па;

g – ускорение свободного падения (земного притяжения), м/с².

Параметры формулы (1) будут являться показателями, определяющими процесс разрушения пласта почвы.

Твёрдость обрабатываемого слоя H является параметром физико-механических свойств почвы, представленным в протоколах испытаний машин на МИС. Параметрами и режимами работы комбинированных агрегатов для мелкой обработки почвы является глубина рыхления a , ширина захвата машины B , скорость движения v тяговое сопротивление машины P_T . Часто в протоколах испытаний машин на МИС вместо тягового сопротивления P_T приведён такой показатель, как потребляемая мощность N , которая представляет собой произведение P_T на v . При обработке почвы возникает перемещение масс (машины и почвы), поэтому необходимо учитывать ускорение земного притяжения g .

Представим размерность каждой величины, входящей в формулу (1) в виде произведения степенных функций независимых величин: длины L , времени T и массы m

$$\begin{aligned} [P_T] &= L^1 \cdot T^{-2} \cdot m^1 \\ [a] &= L^1 \cdot T^0 \cdot m^0 \\ [B] &= L^1 \cdot T^0 \cdot m^0 \\ [v] &= L^1 \cdot T^{-1} \cdot m^0 \\ [H] &= L^{-1} \cdot T^{-2} \cdot m^1 \end{aligned} \quad (2)$$

$$[g]=L^1 \cdot T^{-2} \cdot m^0$$

Значения показателей степеней при основаниях, L , T и m размерного ряда рассматриваемой функции (1) для каждого из входящих в неё параметров образуют размерную матрицу, представленную в таблице 1.

Таблица 1 – Размерная матрица параметров функции $P_T = f(a, B, v, H, g)$

Размерность	Параметры					
	P_T	a	B	V	H	g
Длина L	1	1	1	1	-1	1
Время T	-2	0	0	-1	-2	-2
Масса m	1	0	0	0	1	0

Ранг матрицы равен 3 ($A=3$), т.к. определитель, составленный, например, из трёх последних столбцов не равен нулю.

Необходимо перейти к безразмерной записи функции (1) для определения безразмерных комплексов π_i . Количество безразмерных комплексов определяется по формуле:

$$N=n-a, \tag{3}$$

где n – число переменных в формуле (1);

$A = 3$ – ранг размерной матрицы.

Следовательно, $N = 3$.

Чтобы определить каждый из трёх безразмерных комплексов π_1, π_2, π_3 , необходимо из числа параметров, входящих в формулу (1), выбрать основные, которые в размерной матрице образуют отличный от нуля определитель и оказывают наибольшее влияние на качественные показатели технологического процесса обработки почвы. Этим условиям отвечают параметры: глубина a , скорость v и твёрдость H . Безразмерные комплексы формируют как произведение основных параметров (a, v, H) в соответствующих степенях на один из оставшихся среди рассматриваемых, степе-

нию которого задаются.

$$\pi_1 = P_\tau \cdot a^\alpha \cdot v^\beta \cdot H^\delta \quad (4)$$

$$[\pi_1] = L^{1+\alpha+\beta-\delta} \cdot T^{-2-\beta-2\delta} \cdot m^{1+\delta} \quad (5)$$

Чтобы величина π_1 была безразмерной, необходимо показатели степеней при основаниях размерного ряда в уравнении (5) приравнять к нулю:

$$\begin{cases} 1+\alpha+\beta-\delta=0 \\ -2-\beta-2\delta=0 \\ 1+\delta=0 \end{cases} \quad (6)$$

Отсюда $\alpha = -2$; $\beta = 0$; $\delta = -1$

Подставляя в формулу (4) получим:

$$\pi_1 = \frac{P_\tau}{H \cdot a^2} \quad (7)$$

Аналогичным образом формируем безразмерный комплекс π_2 :

$$\pi_2 = g \cdot a^\alpha \cdot v^\beta \cdot H^\delta \quad (8)$$

$$[\pi_2] = L^{1+\alpha+\beta-\delta} \cdot T^{-2-\beta-2\delta} \cdot m^\delta \quad (9)$$

$$\begin{cases} 1+\alpha+\beta-\delta=0 \\ -2-\beta-2\delta=0 \\ \delta=0 \end{cases} \quad (10)$$

Отсюда $\alpha = 1$; $\beta = -2$; $\delta = 0$

$$\pi_2 = \frac{g \cdot a}{v^2} \quad (11)$$

Обратная величина полученного безразмерного комплекса (11) называется критерием механического подобия Фруда.

Представим в аналогичной форме безразмерный комплекс π_3 :

$$\pi_3 = B \cdot a^\alpha \cdot v^\beta \cdot H^\delta \quad (12)$$

$$[\pi_3] = L^{1+\alpha+\beta-\delta} \cdot T^{-\beta-2\delta} \cdot m^\delta \quad (13)$$

Приравняем к нулю показатели степеней в уравнении (13):

$$\left\{ \begin{array}{l} 1 + \alpha + \beta - \delta = 0 \\ -\beta - 2\delta = 0 \\ \delta = 0 \end{array} \right\} \quad (14)$$

$$\alpha = -1; \beta = 0; \delta = 0$$

$$\pi_3 = \frac{B}{a} \quad (15)$$

В соответствии с π -теоремой [7], всякое уравнение физического процесса, объединяющее между собой n величин, среди которых m величин обладают независимыми размерностями, можно преобразовать к критериальному уравнению, которое связывает $n - m$ безразмерных комплексов:

$$\pi_1 = f(\pi_2, \pi_3, \dots, \pi_{n-m}), \quad (16)$$

где $\pi_{1, 2, 3, \dots}$ – безразмерные величины, составленные по определенному закону из n величин (параметров), определяющих протекание процесса;

m – число физических величин с независимыми размерностями.

Подставляя формулы (7), (11), (15) в зависимость (16), получим:

$$\frac{P_T}{H \cdot a^2} = f\left(\frac{B}{a}, \frac{g \cdot a}{v^2}\right). \quad (17)$$

С помощью полученной зависимости (17) можно решить поставленные в работе задачи по определению тягового сопротивления почвообрабатывающих машин [8, 9]. В качестве исходных данных (таблица 2) использовали протоколы испытаний следующих машин:

- культиватора комбинированного КПЭ-3,8В по протоколу №12-14-2005 (1020132);

- агрегата почвообрабатывающего комбинированного АПК-3,9 по протоколу №14-34-2000 (1020012);

- агрегата комбинированного влагосберегающего АКВ-4 с приспособлениями по протоколу № 07-91-02 (1020182);

- агрегата комбинированного многоцелевого для поверхностной обработки почвы АКМ-6-V по протоколу № 07-29-2006 (4020672);

- агрегата многооперационного почвообрабатывающего АМП-4 по протоколу № 14-68-2000 (1010332);
- агрегата почвозащитного предпосевного АПК-4А по протоколу № 14-64-2000 (4030222);
- агрегата почвообрабатывающего комбинированного АПК-10 по протоколу № 12-12-2005 (1020312);
- агрегата почвообрабатывающего АПР-4,4 по протоколу № 15-04-06 (1020452);
- агрегата почвозащитного универсального АПУ-6,5 по протоколу № 03-46-00 (4020552);
- агрегата полунавесного широкозахватного почвообрабатывающего АПШ-6 по протоколу № 14-39-2005 (1020122);
- культиватора навесного комбинированного КНК-6,0 по протоколу № 14-44-2005 (1020032);
- культиватора стерневого тяжёлого КСТ-3,8 по протоколу № 06-58-2003 (4020792);
- агрегата почвообрабатывающего комбинированного АПК-4 по отчёту №11-20в-07 (9110206).

Корреляционный анализ позволил установить, что зависимость

$\frac{P_T}{H \cdot a^2} = f\left(\frac{B}{a}\right)$ является линейной, т.е. её можно записать в виде:

$$\frac{P_T}{H \cdot a^2} = \left(\frac{P_T}{H \cdot a^2}\right)_0 + \chi\left(\frac{B}{a}\right) \quad (18)$$

Таблица 2 – Безразмерные комплексы

Обозначение	Величина												
	КПЭ-3,8В	АПК-3,9	АКВ-4	АКМ-6-V	АМП-4	АПК-4А	АПК-10	АПР-4,4	АПУ-6,5	АПШ-6	КНК-6,0	КСТ-3,8	АПК-4
π_1	1,40	1,72	1,47	1,43	1,62	1,51	1,51	1,43	1,44	1,25	1,71	1,44	1,69
π_2	0,16	0,21	0,32	0,38	0,24	0,26	0,29	0,14	0,20	0,19	0,16	0,57	0,18
π_3	28,5	25,2	32,3	39,1	30,2	31,7	71,8	41,3	41,3	55,0	43,6	29,0	29,1

В результате преобразований с помощью метода наименьших квадратов определили коэффициенты эмпирического уравнения $\left(\frac{P_T}{H \cdot a^2}\right)_0$ и χ :

$$\left(\frac{P_T}{H \cdot a^2}\right)_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{B}{a}\right)_i^2 \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{P_T}{H \cdot a^2}\right)_i - \sum_{i=1}^n \left(\frac{B}{a}\right)_i \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{B}{a}\right)_i \cdot \left(\frac{P_T}{H \cdot a^2}\right)_i}{n \sum_{i=1}^n \left(\frac{B}{a}\right)_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n \left(\frac{B}{a}\right)_i\right)^2} \quad (19)$$

$$\chi = \frac{n \sum_{i=1}^n \left(\frac{B}{a}\right)_i \cdot \left(\frac{P_T}{H \cdot a^2}\right)_i - \sum_{i=1}^n \left(\frac{B}{a}\right)_i \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{P_T}{H \cdot a^2}\right)_i}{n \sum_{i=1}^n \left(\frac{B}{a}\right)_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n \left(\frac{B}{a}\right)_i\right)^2} \quad (20)$$

Подставляя данные из таблицы 2 в формулы (19) и (20), а затем полученные значения в (18), получили эмпирическое уравнение функции

$$\left(\frac{P_T}{H \cdot a^2}\right) = f\left(\frac{B}{a}\right):$$

$$\frac{P_T}{H \cdot a^2} = 1,134 + 0,011 \left(\frac{B}{a} \right) \quad (21)$$

Функцию $\left(\frac{P_T}{H \cdot a^2} \right) = f \left(\frac{ga}{v^2} \right)$ можно считать квадратичной, т.к. согласно предыдущим исследованиям тяговое сопротивление почвообрабатывающих машин в зависимости от скорости движения изменяется по закону параболы.

Квадратичную функцию можно представить уравнением:

$$\frac{P_T}{H \cdot a^2} = \left(\frac{P_T}{H \cdot a^2} \right)_0 + y \frac{ga}{v^2} + z \left(\frac{ga}{v^2} \right)^2 \quad (22)$$

В искомой функциональной зависимости $\left(\frac{P_T}{H \cdot a^2} \right) = f \left(\frac{ga}{v^2} \right)$ отсутствует второй член уравнения (22), поэтому $y=0$, а формула (22) принимает вид:

$$\frac{P_T}{H \cdot a^2} = \left(\frac{P_T}{H \cdot a^2} \right)_0 + z \left(\frac{ga}{v^2} \right)^2 \quad (23)$$

С помощью метода наименьших квадратов определим коэффициенты эмпирического уравнения $\left(\frac{P_T}{H \cdot a^2} \right)$ и z :

$$z = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{ga}{v^2} \right)_i^2 \cdot \left(\frac{P_T}{H \cdot a^2} \right)_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{P_T}{H \cdot a^2} \right)_i \sum_{i=1}^n \left(\frac{ga}{v^2} \right)_i^2}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{ga}{v^2} \right)_i^4 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \left(\frac{ga}{v^2} \right)_i^2 \right)^2} \quad (24)$$

$$\left(\frac{P_T}{H \cdot a^2} \right)_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{P_T}{H \cdot a^2} \right)_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{ga}{v^2} \right)_i^2 \cdot z \quad (25)$$

Подставляя данные из таблицы 2 в формулы (24) и (25), а затем полученные значения в (23), получили эмпирическое уравнение

$$\frac{P_T}{H \cdot a^2} = 1,541 - 0,362 \left(\frac{ga}{v^2} \right)^2 \quad (26)$$

Решая совместно уравнения (21) и (26), получили:

$$\frac{P_T}{H \cdot a^2} = 1,338 + 0,006 \left(\frac{B}{a} \right) - 0,180 \left(\frac{ga}{V^2} \right)^2 \quad (27)$$

Зависимость (27) графически представлена на рисунке 1.

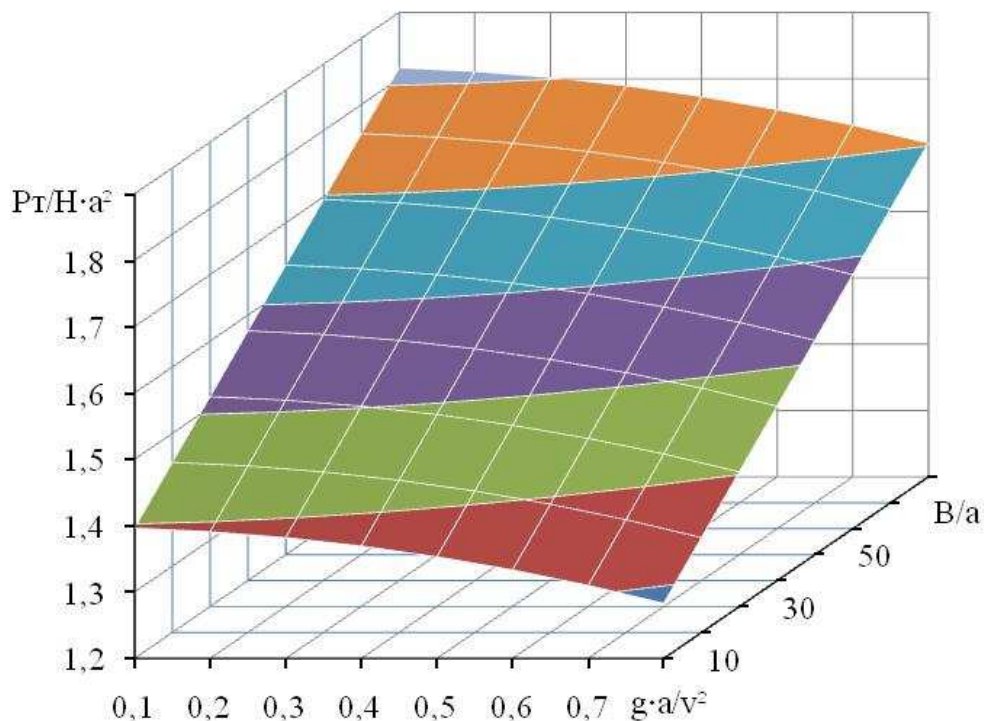


Рисунок 1 – График для определения режимов работы и параметров комбинированных агрегатов для обработки почвы

Из анализа графика следует, что безразмерный комплекс $\pi_1 = \frac{P_T}{H \cdot a^2}$ уменьшается с увеличением π_2 при $\pi_3 = \text{const}$, а с увеличением π_3 при $\pi_2 = \text{const}$, увеличивается. Причём с увеличением π_3 при $\pi_2 = \text{const}$ π_1 увеличивается интенсивнее, чем уменьшается при $\pi_3 = \text{const}$ с увеличением π_2 . Энергетический безразмерный комплекс $\pi_1 = \frac{P_T}{H \cdot a^2}$ уменьшается значительно и больше зависит от геометрии рабочего органа и комбинированного агрегата ($\pi_3 = B/a$), чем от динамики протекания процесса $\left(\pi_2 = \frac{ga}{V^2} \right)$ при выбранных режимах работы. По мере возрастания π_2 (при $\pi_2 = 0,5$ и

$\pi_2=0,7$) при $\pi_3= \text{const}$ интенсивность падения безмерного комплекса π_1 увеличивается [10]. Граница графика на рисунке определена наибольшим и наименьшим значениями безразмерных комплексов (таблица 1), рассчитанных по данным испытаний современных комбинированных агрегатов для обработки почвы.

Выводы:

1. При разработке машин важную роль играют расчётные методы, основанные на результатах исследований процессов взаимодействия их рабочих органов с почвой и обусловленных её свойствами.

2. Моделирование в системном анализе позволяет определить зависимость, связывающую тяговое сопротивление машин с физико-механическими свойствами почвы, с параметрами и режимами работы.

3. С помощью полученного графика можно определить тяговое сопротивление комбинированного агрегата, задавшись свойствами почвы, параметрами и режимами работы машины, при этом значительно сократив объём экспериментальных исследований.

Литература

1. Пархоменко, Г.Г. Обоснование конструкции новых рабочих органов на основании анализа процесса термодиффузии влаги в почве / Г.Г. Пархоменко, А.В. Громаков, И.В. Божко // Инновационные технологии в науке и образовании «ИТНО - 2014»: Сб. науч. тр. междунар. научно-метод. конф. – Ростов – на – Дону – зерноград – Дивноморское. – 2014. – С. 329 – 334.

2. Божко, И.В. Особенности безотвальной послойной обработки почвы в засушливых условиях / И.В. Божко, Г.Г. Пархоменко // Агротехника и энергообеспечение. - 2014. - № 1(1). - С. 25 – 30.

3. Пархоменко, Г.Г. Определение тягового сопротивления почвообрабатывающих машин/Г.Г. Пархоменко, В.Н. Щиров//Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2011. – №8.– С. 23–24.

4. Пархоменко Г.Г. Разработка комбинированных агрегатов для влагосберегающей обработки почвы с использованием теории размерностей и подобия / Г.Г. Пархоменко, В.Н. Щиров // Проблемы экономичности и эксплуатации автотранспортной техники в АПК: Матер. межгосудар. научно-технич. семинара, посвященного памяти В.В. Михайлова. – Вып. 24. – 2011. – С. 73–77.

5. Пархоменко, Г.Г. Теория глубокихрыхлителя: Расчёт взаимодействия рабочих органов с почвой. / Г.Г. Пархоменко, В.Н. Щиров: Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013– 88 с.

6. Щириов, В.Н. Априорное определение тягового сопротивления глубокорыхлителя методами теории размерностей и подобия / В.Н. Щириов, Г.Г. Пархоменко // Вестник аграрной науки Дона. – 2013. – №1(21). – с. 28 – 37
7. Клайн, С. Подобие и приближенные методы / С. Клайн. – М.: Мир, 1986. – 302 с.
8. Пархоменко, Г.Г., Максименко В.А., Щириов В.Н. Снижение тягового сопротивления глубокорыхлителей / Г.Г. Пархоменко, В.А. Максименко, В.Н. Щириов // Сельский механизатор. – №8. – 2010. – С.10-11.
9. Пархоменко, Г.Г. Результаты оптимизации формы почвообрабатывающих рабочих органов/ Г.Г. Пархоменко, И.В. Божко//Moderní vymoženosti vědy – 2014: Materiály X mezinárodní vědecko-praktická conference – Díl 32. Zemědělství: Praha. Publishing House «Education and Science» s.r.o. – 2014. – S. 17-21.
10. Щириов, В.Н. Метод оценки эффективности глубокорыхлителей нового поколения по энергозатратам и качеству обработки почвы / В.Н. Щириов, Г.Г. Пархоменко // Проблемы механизации и электрификации сельского хозяйства: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Краснодар. – 2014. – С. 176 – 181.

References

1. Parhomenko, G.G. Obosnovanie konstrukcii novyh rabochih organov na osnovanii analiza processa termodiffuzii vlagi v pochve / G.G. Parhomenko, A.V. Gro-makov, I.V. Bozhko // Innovacionnyye tehnologii v nauke i obrazovanii «ITNO - 2014»: Sb. nauch. tr. mezhdunar. nauchno-metod. konf. – Rostov – na – Donu – Zernograd – Divnomorskoe. – 2014. – S. 329 – 334.
2. Bozhko, I.V. Osobennosti bezotval'noj poslojnoj obrabotki pochvy v zasushlivyh uslovijah / I.V. Bozhko, G.G. Parhomenko // Agrotehnika i jenergoobespechenie. - 2014. - № 1(1). - S. 25 – 30.
3. Parhomenko, G.G. Opredelenie tjagovogo soprotivlenija pochvoobrabatyvajushchih mashin/G.G. Parhomenko, V.N. Shhirov//Mehanizacija i jelektifikacija sel'skogo hozjajstva. – 2011. – №8.– S. 23–24.
4. Parhomenko G.G. Razrabotka kombinirovannyh agregatov dlja vlagosbergajushhej obrabotki pochvy s ispol'zovaniem teorii razmernostej i podobija / G.G. Parhomenko, V.N. Shhirov // Problemy jekonomichnosti i jekspluatacii avtotransportnoj tehniki v APK: Mater. mezhgosudar. nauchno-tehnich. seminar, posvjashhennogo pamjati V.V. Mihajlova. – Vyp. 24. – 2011. – S. 73–77.
5. Parhomenko, G.G. Teorija glubokoryhlytelja: Raschjot vzaimodejstvija rabochih organov s pochvoj. / G.G. Parhomenko, V.N. Shhirov: Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013– 88 s.
6. Shhirov, V.N. Apriornoe opredelenie tjagovogo soprotivlenija glubokoryhlytelja metodami teorii razmernostej i podobija / V.N. Shhirov, G.G. Parhomenko // Vestnik agrarnoj nauki Dona. – 2013. – №1(21). – с. 28 – 37.
7. Klajn, S. Podobie i priblizhennye metody / S. Klajn. – М.: Мир, 1986. – 302 с.
8. Parhomenko, G.G., Maksimenko V.A., Shhirov V.N. Snizhenie tjagovogo soprotivlenija glubokoryhlytelej / G.G. Parhomenko, V.A. Maksimenko, V.N. Shhirov // Sel'skij mehanizator. – №8. – 2010. – S.10-11.
9. Parhomenko, G.G. Rezul'taty optimizacii formy pochvoobrabatyvajushchih rabochih organov/ G.G. Parhomenko, I.V. Bozhko//Moderní vymoženosti vědy – 2014: Materiály X mezinárodní vědecko-praktická conference – Díl 32. Zemědělství: Praha. Publishing House «Education and Science» s.r.o. – 2014. – S. 17-21.
10. Shhirov, V.N. Metod ocenki jeffektivnosti glubokoryhlytelej novogo po-

kolenija po jenergozatratah i kachestvu obrabotki pochvy / V.N. Shhirov, G.G. Parhomenko
// Problemy mehanizacii i jelektrifikacii sel'skogo hozjajstva: Materialy Vseros-sijskoj nauch-
no-prakticheskoj konferencii. – Krasnodar. – 2014. – S. 176 – 181.