

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛАСТИКА В КОНСТРУКЦИЯХ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ

## THE USE OF PLASTICS IN THE CONSTRUCTION OF SOIL-WORKING TOOLS

**Г.Г. ПАРХОМЕНКО**, к.т.н.

**И.В. БОЖКО**, к.т.н.

**А.В. ГРОМАКОВ**

**В.И. ПАХОМОВ**, д.т.н.

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», Зерноград,  
Россия, i.v.bozhko@mail.ru

**G.G. PARKHOMENKO**, PhD in Engineering

**I.V. BOZHKO**, PhD in Engineering

**A.V. GROMAKOV**,

**V.I. PAKHOMOV**, DSc in Engineering

The Federal State Budget Scientific Institution «Agrarian Science  
Center «Donskoy», Zernograd, Russia, i.v.bozhko@mail.ru

Известные рабочие органы для послойной безотвальной обработки почвы характеризуются высокой металлоемкостью, что приводит к увеличению массы конструкции и росту энергозатрат. Целью исследования является снижение затрат энергии на осуществление технологического процесса послойной безотвальной обработки почвы. Благодаря использованию в конструкции новых неметаллических материалов на основе пластика возможно существенное снижение металлоемкости рабочих органов и затрат энергии на осуществление технологического процесса послойной безотвальной обработкой почвы. В статье доказана целесообразность применения пластика в конструкциях рабочих органов для обработки почвы. Выбор пластика должен быть основан на анализе его свойств и характеристик. Толерантны к изменению свойств среды высокомолекулярные соединения пластика с гибкостью полимерной цепи, ограничивающей ее стерические препятствия вращению и взаимодействию групп атомов. Термопласты, получаемые на основе разветвленных полимеров, могут подвергаться повторной переработке. К ним относятся фторопласт и полиэтилен как наиболее соответствующие условиям с/х производства. Разработана конструкция рабочего органа для послойной безотвальной обработки почвы, содержащего стойку с долотом, съемные лемешные лезвия, комкодробитель, упорную плиту и рыхлитель для мелкой обработки. В локальных зонах износа и области повышенного трения рабочего органа монтировали сверхвысокомолекулярный полиэтилен низкой плотности. Методика оптимизации параметров рабочего органа для послойной безотвальной обработки почвы с применением сверхвысокомолекулярного полиэтилена низкой плотности основана на планировании эксперимента по трехфакторному плану Бокса. Установлены наименьшее тяговое сопротивление и минимальные затраты энергии рабочего органа для послойной безотвальной обработки почвы с применением сверхвысокомолекулярного полиэтилена низкой плотности при скорости агрегата от 2,8 до 3,0 м/с, угле входа в почву долота от 31,5 до 33,5°, глубине обработки почвы 30–35 см.

**Ключевые слова:** сверхвысокомолекулярный полиэтилен, затраты энергии, рабочий орган, обработка почвы.

The well-known working bodies for layer-by-layer soil-free tillage are characterized by high metal content, which leads to an increase in the weight of the structure and an increase in energy costs. The aim of the study is to reduce energy costs for the implementation of the technological process of layer-by-layer soil-free tillage. Due to the use of new non-metallic materials based on plastics in the design, it is possible to significantly reduce the metal capacity of working bodies and energy consumption for the process of layer-by-layer soil-free tillage. The article proves the expediency of using plastic in the structures of working bodies for soil cultivation. The choice of plastic should be based on analysis of its properties and characteristics. Tolerant to the change in the properties of the medium are high-molecular compounds of plastic with the flexibility of the polymer chain, which limits its steric hindrance to rotation and the interaction of groups of atoms. Thermoplasts obtained on the basis of branched polymers can be re-processed. These include polytetrafluoroethylene and polyethylene as the most appropriate conditions for agricultural production. The design of the working body for layer-by-layer soil-free tillage, containing a rack with a chisel, removable plowshares, crushing machine, thrust plate and ripper for small processing has been developed. In the local wear zones and areas of increased friction of the working body ultra-high molecular low-density polyethylene was mounted. The technique for optimizing the parameters of the working element for layer-by-layer soil-free tillage with the use of ultrahigh-molecular low-density polyethylene is based on the planning of the experiment on the three-factor Box plan. The smallest traction resistance and the minimum energy consumption of the working element for layer-by-layer soil-free tillage with the use of ultrahigh-molecular low-density polyethylene at a unit speed of 2.8 to 3.0 m/s are established; the angle of entry of the bit to soil from 31,5 to 33,5°; the depth of tillage is 30–35 cm.

**Keywords:** ultra-high molecular polyethylene, energy costs, working body, soil cultivation.

## Введение

В настоящее время в с/х машиностроении распространение получают неметаллические материалы, полученные в результате синтеза высокомолекулярных соединений, к которым относятся пластические массы (пластики). Распространение пластиков обусловлено их преимуществом по сравнению с другими конструкционными материалами по основным физико-механическим и эксплуатационным свойствам в условиях с/х производства.

Рабочие органы для послойной безотвальной обработки почвы характеризуются высокой металлоемкостью, что приводит к увеличению массы конструкции и повышенным энергозатратам на осуществление технологического процесса. Благодаря использованию в конструкции новых неметаллических материалов на основе пластика возможно существенное снижение металлоемкости рабочих органов и затрат энергии на осуществление технологического процесса обработкой почвы.

## Цель исследования

Целью исследования является снижение затрат энергии при сохранении качества обработки почвы.

## Материалы и методы

Небольшая масса и незначительное сопротивление обрабатываемой среде пластиков позволяет применять их в качестве элементов конструкций рабочих органов для энергосберегающей обработки почвы, поскольку при этом

сокращается потребляемая мощность энергосредства ввиду уменьшения первой составляющей рациональной формулы Горячкина:

$$P = fG + Kab + \varepsilon abv^2, \quad (1)$$

где  $G$  – вес рабочего органа, Н;  $a$  – глубина обработки почвы, м;  $b$  – ширина захвата рабочего органа, м;  $f$  – коэффициент трения почвы по материалу рабочего органа;  $K$  – коэффициент удельного сопротивления почвы, учитывающий свойства почвы и геометрическую форму рабочего органа, Па;  $\varepsilon$  – скоростной коэффициент, Н·с<sup>2</sup>/м<sup>4</sup>;  $v$  – скорость перемещения рабочего органа, м/с.

Поскольку коэффициент трения у пластика ниже, чем у металла, а вес рабочего органа меньше, то первое слагаемое формулы (1) уменьшается.

Классификация пластиков основана на различных принципах: химических свойствах полимера, методах получения и др. (рис. 1).

По методам получения пластики делятся на полученные на основе высокомолекулярных соединений цепной полимеризацией или поликонденсацией и ступенчатой полимеризацией и полученные на основе природных полимеров химической переработкой или деструкцией органических веществ. Данная классификация не в полной мере отражает специфические особенности пластиков, поскольку не учитывает химические свойства полимерных связующих. По указанному признаку пластики можно разделить на термопласты и реактопласты.



Рис. 1. Классификация пластиков

Выбор пластика для работы в условиях с/х производства должен быть основан на анализе его свойств и характеристик. Например, термопласты получают на основе линейных или разветвленных полимеров и сополимеров, способных при нагревании трансформироваться из твердого в вязкое состояние, не изменяя при этом химической структуры. Элементы из реактопластов изготавливают из технологических полуфабрикатов, представляющих смеси компонентов, в состав которых входит полупродукт полимера, трансформируемый в высокомолекулярное соединение с пространственной структурой макромолекул. Процесс получения реактопластов является необратимым, поэтому они не подвергаются повторной переработке.

Установлено, что толерантны к изменению свойств среды высокомолекулярные соединения пластика с гибкостью полимерной цепи, ограничивающей ее стерические препятствия вращению и взаимодействию групп атомов.

Термопласты, получаемые на основе разветвленных полимеров, могут подвергаться повторной переработке с сохранением основных свойств. К ним относится полиэтилен и фторопласт.

Полиэтилен несколько уступает фторопласту по отдельным показателям, но по плотности и свариваемости [1] имеет преимущества. Так, плотность полиэтилена (0,92...0,96 г/см<sup>3</sup>), что в 2,2...2,6 раза меньше, чем фторопласта. Поэтому вес конструкции из полиэтилена меньше, чем из фторопласта.

Помимо этого фторопласты обладают свойством хладотекучести, которое приводит к

изменению геометрии рабочего органа при нагрузках. Согласно справочным данным [1], допустимые нагрузки на детали из некоторых фторопластов не должны превышать 3 МПа, что не соответствует исходным требованиям к почвообрабатывающим рабочим органам, функционирующим при твердости пласта до 4 МПа. Зачастую условия функционирования рабочих органов глубокорыхлителей характеризуются экстремально высокой твердостью (до 6 МПа) в засушливых условиях, поэтому не целесообразно устанавливать на них фторопластовые элементы.

На основании ряда исследований [2–6] разработана конструкция рабочего органа для послойной безотвальной обработки почвы с применением сверхвысокомолекулярного полиэтилена низкой плотности – термопласта аморфно-кристаллического строения, состоящего из цепных и разветвленных молекул, содержащего стойку с долотом, в передней части которой установлены съемные лемешные лезвия. На долоте закреплен, с возможностью перемещения, комкодробитель и расположена упорная плита. В верхней части стойки смонтирован, с возможностью замены, элемент для мелкой обработки почвы (рыхлитель). Сверхвысокомолекулярный полиэтилен низкой плотности монтировали в локальных зонах износа и области повышенного трения рабочего органа для послойной безотвальной обработки почвы (рис. 2).

В результате исследований [7] установлено, что при функционировании рабочего органа на экстремальном режиме (глубина более 38 см, твердость более 4 МПа) происходит деформация рыхлителя для мелкой обработки почвы,



*а*



*б*

**Рис. 2. Рабочий орган для послойной безотвальной обработки почвы:**  
*а* – без пластика; *б* – с пластиком

имеющего локальные области концентрации напряжений. Поэтому рыхлитель для мелкой обработки почвы выполнен из сверхвысокомолекулярного полиэтилена низкой плотности, толерантного к концентраторам напряжений. Помимо этого сверхвысокомолекулярный полиэтилен низкой плотности устанавливался на долоте, комкодробителе и упорной плите рабочего органа для послойной безотвальной обработки почвы.

Это обусловлено тем, что сопротивление разрушению пласта почвы при глубоком рыхлении в боковых расширениях прорези по отношению к единице площади их сечения в несколько раз меньше, чем сопротивление, отнесенное к единице площади перед лобовой поверхностью долота, поскольку при сжатии требуется создать разрушающие напряжения в несколько раз больше, чем при растяжении [8, 9].

Сравнение рабочих органов производилось на основании анализа результатов полевых исследований.

### Результаты и обсуждения

Сравнительная оценка показала, что наиболее качественная обработка почвы осуществлялась рабочим органом для послойной безотвальной обработки почвы с пластиком. После обработки почвы рабочим органом с пластиком поверхность поля более выровненная, лучшее качество крошения пласта (табл. 1).

говое сопротивление, определяющего энергозатраты на осуществление технологического процесса (табл. 3).

В результате экспериментальных исследований по влиянию скорости ( $X_1$ ) перемещения рабочего органа с пластиком, глубины обработки почвы ( $X_2$ ), угла входа в почву долота ( $X_3$ ) на тяговое сопротивление ( $y$ ) получено регрессионное уравнение второго порядка в кодированном виде:

$$y = 7,013 - 0,046 X_1 + 0,779 X_2 + 0,072 X_3 - 0,678 X_1 X_2 + 0,395 X_1 X_3 + 0,31 X_2 X_3 - 0,3X_1^2 + 0,055X_2^2 + 0,542X_3^2.$$

Проверка показала, что по критерию Фишера ( $F = 17,9 < F_{\text{таб}} = 18,99$ ) уравнение является адекватным.

В результате анализа уравнения регрессии установлено, что глубина обработки почвы рабочим органом ( $X_2$ ) оказывает наибольшее влияние и ее увеличение приводит к возрастанию критерия оптимизации. Значительное влияние на критерий оптимизации оказывает и угол входа в почву долота рабочего органа ( $X_3$ ), рост которого приводит к увеличению тягового сопротивления. Характер влияния скорости перемещения рабочего органа ( $X_1$ ) показывает, что с ростом ее значения происходит уменьшение критерия оптимизации (рис. 3).

Таблица 1

Качество крошения пласта рабочими органами для послойной безотвальной обработки почвы

Наименование показателя	Значение по агротребованиям	Значение для рабочего органа	
		без пластика	с пластиком
Количество фракций, %, размером менее 50 мм	60 и выше	76,8	82,0...84,8
Количество фракций, %, размером более 50 мм	Не более 40	23,2	15,2...18,0
Улучшение качества крошения пласта, %			6,8...10,4

Установлено снижение до 18,28 % тягового сопротивления рабочего органа с пластиком (табл. 2).

Внедрение конструкций рабочих органов с пластиком является перспективным направлением повышения энергоэффективности почвообрабатывающих машин [10]. Необходимо выбрать параметры рабочего органа для послойной безотвальной обработки почвы с пластиком, обеспечивающие минимальное тя-

Таблица 2

Тяговое сопротивление рабочими органами для послойной безотвальной обработки почвы

Наименование показателя	Значение для рабочего органа	
	без пластика	с пластиком
Тяговое сопротивление, кН	9,3	7,6
Снижение тягового сопротивления, %	–	18,28

Таблица 3

План эксперимента и выходные параметры опытов

№ опыта	Матрица планирования			Натуральные значения переменных			Выходные параметры (тяговое сопротивление, кН)
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	Скорость перемещения рабочего органа, м/с	Глубина обработки почвы, см	Угол входа в почву долота рабочего органа, град.	
1	+1	+1	0	3	35	32,5	6,07
2	+1	-1	0	3	25	32,5	6,09
3	-1	+1	0	2	35	32,5	8,80
4	-1	-1	0	2	25	32,5	6,11
5	0	0	0	2,5	30	32,5	6,80
6	+1	0	+1	3	30	35	8,10
7	+1	0	-1	3	30	30	7,60
8	-1	0	+1	2	30	35	6,12
9	-1	0	-1	2	30	30	7,20
10	0	0	0	2,5	30	32,5	7,04
11	0	+1	+1	2,5	35	35	9,10
12	0	+1	-1	2,5	35	30	7,90
13	0	-1	+1	2,5	25	35	6,70
14	0	-1	-1	2,5	25	30	6,74
15	0	0	0	2,5	30	32,5	7,20

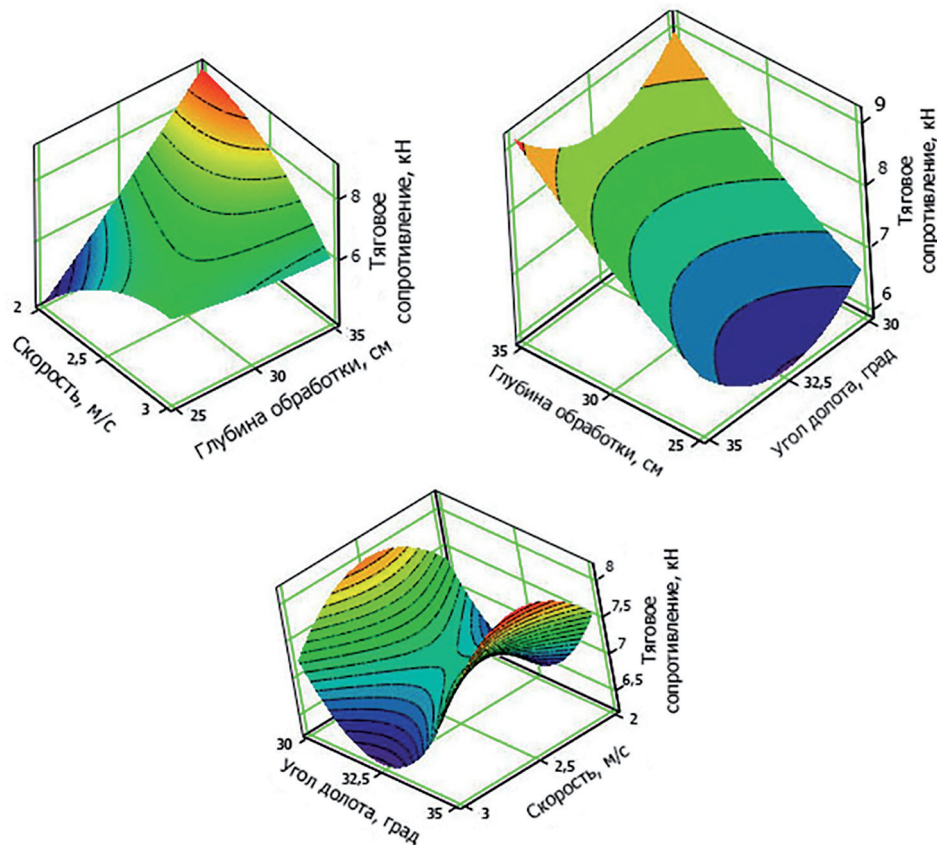


Рис. 3. Поверхности отклика тягового сопротивления

При фиксации значения угла входа в почву долота рабочего органа на уровне  $32,5^\circ$  критерий оптимизации уменьшается с падением скорости перемещения рабочего органа и глубины обработки почвы. Оптимальной областью можно признать интервал значений скорости перемещения рабочего органа от 2,0 до 2,2 м/с и глубины обработки почвы от 25 до 28 см. При фиксации значения скорости перемещения рабочего органа на уровне 2,5 м/с критерий оптимизации последовательно уменьшается с падением глубины обработки почвы в пределах ее варьирования в опыте. Наименьшее значение критерий оптимизации достигает при угле входа в почву долота рабочего органа от  $31,5$  до  $33,5^\circ$  (рис. 4).

При фиксированном значении глубины обработки почвы на уровне 30 см поверхность отклика имеет «седловидную» форму. При этом снижение критерия оптимизации происходит в двух областях поверхности: при скорости перемещения рабочего органа в пределах от 2,0 до 2,2 м/с и от 2,8 до 3,0 м/с для угла входа в почву долота в пределах от  $31,5$  до  $33,5^\circ$ .

С точки зрения увеличения производительности рабочего органа скорость перемещения рабочего органа необходимо устанавливать от 2,8 до 3,0 м/с.

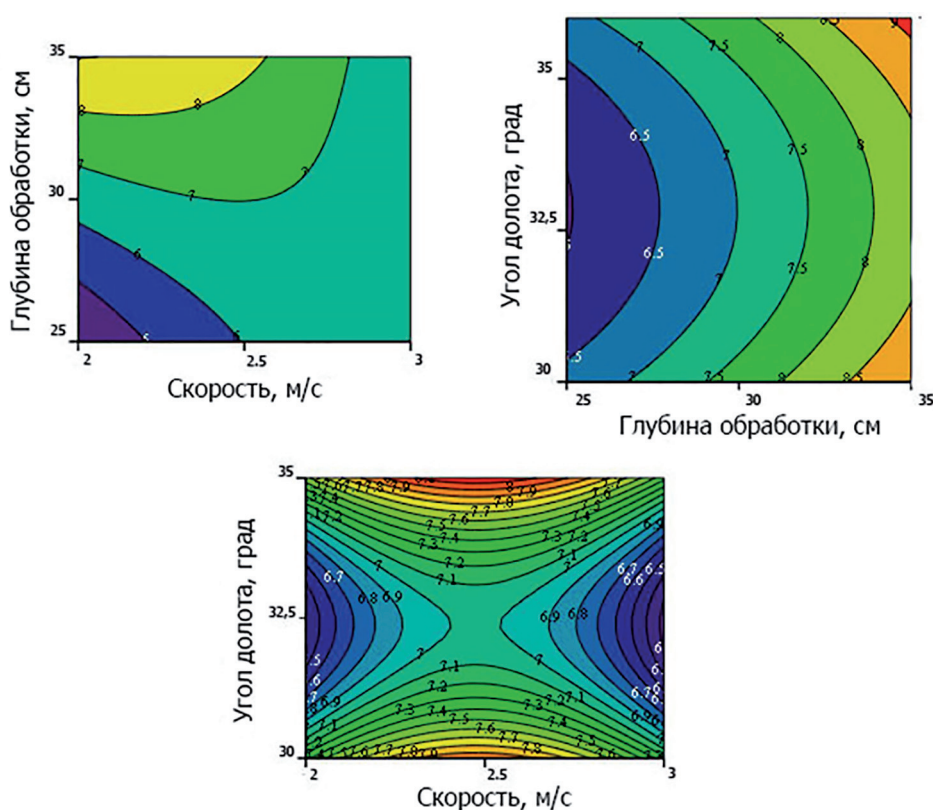


Рис. 4. Сечения поверхностей отклика тягового сопротивления при фиксации одного из факторов

## Выводы

1. Использование сверхвысокомолекулярного полиэтилена в конструкциях рабочих органов обеспечивает снижение тягового сопротивления на 18,3 %, улучшение качества крошения пласта на 6,8...10,4 % и выровненность фона.

2. Оптимальное тяговое сопротивление рабочего органа с пластиком обеспечивается при скорости агрегата от 2,8 до 3,0 м/с, угле входа в почву долота от  $31,5$  до  $33,5^\circ$  и глубине обработки почвы 30...35 см.

## Литература

1. Пархоменко Г.Г., Божко И.В., Пантюхов И.В., Семенихина Ю.А., Громаков А.В. Предпосылки к использованию инновационных материалов на основе пластика в конструкциях почвообрабатывающих рабочих органов // Труды ГОСНИТИ. 2017. Т. 127. С. 176–183.
2. Пархоменко Г.Г., Божко И.В. Результаты оптимизации формы почвообрабатывающих рабочих органов // Moderni vymoženosti vědy – 2014: Materialy X mezinárodní vědecko-praktická conference – Díl 32. Zemědělství: Praha. Publishing House «Education and Science» s.r.o. 2014. S. 17–21.
3. Пархоменко Г.Г. Исследование процесса трансформации почвообрабатывающих рабочих орга-

нов // Механізація та електрифікація сільського господарства. 2013. Т. 1. № 98. С. 142–150.

4. Пархоменко Г.Г. Теория глубокорыхлителя: Расчет взаимодействия рабочих органов с почвой в засушливых условиях. Saarbrucken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. 88 с.
  5. Божко И.В., Пархоменко Г.Г. Особенности безотвальной послойной обработки почвы в засушливых условиях // Агротехника и энергообеспечение. 2014. № 1 (1). С. 25–30.
  6. Божко И.В., Пархоменко Г.Г., Громаков А.В., Семенихина Ю.А., Пантюхов И.В. Ремонтопригодность комбинированных рабочих органов для послойной безотвальной обработки почвы // Труды ГОСНИТИ. 2016. Т. 123. С. 40–44.
  7. Пархоменко Г.Г., Божко И.В., Громаков А.В. Прогнозирование зоны износа эллиптического кольцевого элемента почвообрабатывающего рабочего органа // Труды ГОСНИТИ. 2015. Т. 118. С. 64–68.
  8. Щириков В.Н., Пархоменко Г.Г. Определение взаимосвязи параметров рабочего органа с качественными показателями технологического процесса глубокой обработки почвы // Вестник аграрной науки Дона. 2008. № 1. С. 45–52.
  9. Пархоменко Г.Г. Исследование чизеля: Сравнительная оценка рабочих органов. Saarbrucken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 80 с.
  10. Пархоменко С.Г., Пархоменко Г.Г. Повышение энергоэффективности мобильных почвообрабатывающих агрегатов // Инновации в сельском хозяйстве. 2016. № 3 (18). С. 40–47.
- References**
1. Parkhomenko G.G., Bozhko I.V., Pantyukhov I.V., Semenikhina Yu.A., Gromakov A.V. Prerequisites for the use of innovative materials based on plastic in the construction of soil-working tools. Trudy GOSNITI. 2017. Vol. 127, pp. 176–183 (in Russ.).
  2. Parkhomenko G.G., Bozhko I.V. Results of optimizing the shape of the tillage tools. Moderni vy-
  - mozenosti vědy – 2014: Materialy X mezinarodni vědecko-prakticka conference – Dil 32. Zemědělství: Praha. Publishing House «Education and Science» s.r.o. 2014, pp. 17–21 (in Russ.).
  3. Parkhomenko G.G. Study of the process of transformation of soil-working tools. Mekhanizatsiya ta elektrifikatsiya sil's'kogo gospodarstva. 2013. Vol. 1. No 98, pp. 142–150 (in Russ.).
  4. Parkhomenko G.G. Teoriya glubokorykhlitelya: Raschet vzaimodeystviya rabochikh organov s pochvoy v zasushlivykh usloviyakh [The theory of deep tiller: Calculation of interaction of working bodies with soil in arid conditions]. Saarbrucken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. 88 p.
  5. Bozhko I.V., Parkhomenko G.G. Features of the non-sandwich layer-by-layer tillage in arid conditions. Agrotekhnika i energoobespechenie. 2014. No 1 (1), pp. 25–30 (in Russ.).
  6. Bozhko I.V., Parkhomenko G.G., Gromakov A.V., Semenikhina Yu.A., Pantyukhov I.V. Repairability of combined working tools for layer-by-layer wasteless tillage. Trudy GOSNITI. 2016. Vol. 123, pp. 40–44 (in Russ.).
  7. Parkhomenko G.G., Bozhko I.V., Gromakov A.V. Forecasting the wear zone of the elliptical annular element of the tillage tool. Trudy GOSNITI. 2015. Vol. 118, pp. 64–68 (in Russ.).
  8. Shchirov V.N., Parkhomenko G.G. Determination of the relationship between the parameters of the working body and the qualitative indicators of the technological process of deep tillage. Vestnik agrarnoy nauki Dona. 2008. No 1, pp. 45–52 (in Russ.).
  9. Parkhomenko G.G. Issledovanie chizelya: Sravnitel'naya otsenka rabochikh organov [Chisel study: Comparative evaluation of working bodies]. Saarbrucken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 80 p.
  10. Parkhomenko S.G., Parkhomenko G.G. Increasing the energy efficiency of mobile tillage units. Innovatsii v sel'skom khozyaystve. 2016. No 3 (18), pp. 40–47 (in Russ.).