



УДК 631.362.322

DOI 10.22314/2073-7599-2018-11-6-22-27

## РАСПОЛОЖЕНИЕ ЛЕЗВИЯ НАКЛАДНОГО ДОЛОТА ПО ОТНОШЕНИЮ К НАПРАВЛЕНИЮ ДВИЖЕНИЯ ПАХОТНОГО АГРЕГАТА

Лискин И.В.;

Миронов Д.А.\*;

Курбанов Р.К.,  
канд. техн. наук

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, 1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Российская Федерация, \*e-mail: mironov-denis87@mail.ru

Накладное долото составного лемеха – наиболее нагруженная деталь, играющая существенную роль в обеспечении работоспособности лемеха и в выполнении агротехнических требований по глубине вспашки. Долота лемехов изготавливают методом штамповки, вырубки из прокатной полосы и вырезки из листа с применением газовых, лазерных либо плазменных установок. Наилучшей производительностью отличаются детали из прокатной полосы. Отметим, что на тяжелых почвах лучшие показатели имеют долота с большим перепадом по глубине вспашки между крайними точками лезвия вследствие частичного разрушения нарастающей почвенной подошвы. При вспашке легких и средних почв перепад глубины между крайними точками лезвия долота уменьшают для снижения тягового сопротивления лемеха. Установили, что на легких почвах твердостью до 2,7 МПа минимальное тяговое сопротивление характерно для плугов, оснащенных лемехами с долотами, имеющими минимальный перепад по глубине между крайними точками лезвия. Доказали, что с увеличением перепада до 30 мм тяговое сопротивление возросло в среднем на 5,5 процента, причем повышение тягового сопротивления происходило по зависимости, близкой к линейной, в диапазоне перепада глубины от 10 до 30 мм. Выявили, что на легких и тяжелых почвах для плугов общего назначения необходимо рекомендовать к лемехам накладные долота. При этом угол между лезвием долота и стенкой борозды должен быть прямым, а перепад по глубине установки лезвия долота между крайними точками на линии, пересекающей лезвие и боковые грани долота, должен находиться в интервале 15-20 мм.

**Ключевые слова:** обработка почвы, лемех, накладное долото, тяговое сопротивление, почвенная подошва.

■ **Для цитирования:** Лискин И.В., Миронов Д.А., Курбанов Р.К. Расположение лезвия накладного долота по отношению к направлению движения пахотного агрегата // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. №6. С. 22-27.

## OVERLAID CHISEL BLADE LOCATION RELATIVE TO DIRECTION OF PLOWING UNIT MOVEMENT

Liskin I.V.;

Mironov D.A.\*;

Kurbanov R.K.,  
Ph.D.(Eng)

Federal Scientific Agricultural Engineering Center VIM, 1st Institutskiy proezd, 5, Moscow, 109428, Russian Federation, \*e-mail: mironov-denis87@mail.ru

An overlaid chisel of a compound ploughshare is the most loaded part which is important for operability of a ploughshare and implementation of agrotechnical requirements for plowing depth. Chisels of ploughshares are made by methods of stamping and blanking with use of gas, laser or plasma machines. Parts from a rolled strip are the most wear-resisting. Chisels with big difference on plowing depth between extreme points of an edge are the best for heavy soils cultivation because of partial destruction of the soil bottom layer. When light and medium soils plowing the difference of depth between extreme points of an edge of a chisel is reduced for decrease in traction resistance of a ploughshare. On light soils with the hardness up to 2.7 MPa the plows equipped with ploughshares with the chisels having the minimum difference on depth between extreme points of an edge have the minimum traction resistance. When difference raises up to 30 mm traction resistance increases on average for 5.5 percent. This dependence is close to linear if difference of depth varies from 10 to 30 mm. The overlaid chisels are recommended for ploughshares at cultivation of light and heavy soils by plows of general purpose. The angle between a chisel edge and a furrow wall should to be direct, and the difference of depth

between extreme points on the line crossing an edge and sides of the chisel should be in an interval of 15-20 mm.

**Keywords:** Soil cultivation; Ploughshare; Overlaid chisel; Traction resistance; Soil bottom layer.

**For citation:** Liskin I.V., Mironov D.A., Kurbanov R.K. Overlaid chisel blade location relative to direction of plowing unit movement. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2017; 6: 22-27. DOI 10.22314/2073-7599-2018-11-6-22-27. (In Russian)

**Н**акладное долото составного лемеха играет существенную роль в обеспечении работоспособности лемеха и в выполнении агротехнических требований по глубине вспашки. При износе режущей части долота (затупление или снижение вылета перед остовом лемеха) эти требования нарушаются, плуг теряет устойчивый ход по глубине, и происходит его выглубление [1].

Долота лемехов изготавливают в основном методом штамповки, вырубки из прокатной полосы и вырезкой из листа с применением газовых, лазерных либо плазменных установок [2-4]. Расположение лезвийной части долота по отношению к стенке борозды или направлению движения пахотного агрегата в современных конструкциях лемехов отличается большим многообразием как по ширине долота, так и по углам установки к стенке и дну борозды. Наиболее универсальным считается изготовление долот штамповкой [5]. В частности, штамповкой можно получить режущую кромку лезвия долота переменной толщины, где наибольшее значение может иметь передняя, выступающая часть лезвия (рис. 1, точка *a*), испытывающая максимальное давление со стороны почвенной массы, а наименьшее – задняя часть (рис. 1, точка *b*). При обработке участков с разуплотненной почвенной подошвой после ее обработки глубокорыхлителями возможен обратный вариант.

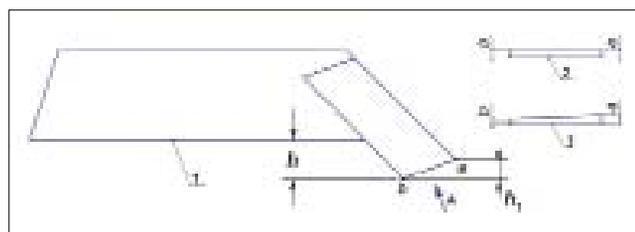


Рис. 1. Схема лемеха с накладным долотом и виды лезвийной части долот: 1 – общий вид лемеха с лицевой стороны; 2 – кромка лезвия одинаковой толщины по краям; 3 – кромка лезвия с разной толщиной по краям;

*a* – передняя точка; *b* – задняя точка; *h* – разность между нижней точкой долота и лезвием остова; *h*<sub>1</sub> – разность глубины вспашки в точках *a* и *b*

Fig. 1. Scheme of ploughshare with overlaid chisel and types of blade part: 1 – general view of ploughshare from the face; 2 – edge with constant thickness; 3 – edge with different thickness; *a* – forward point; *b* – back point; *h* – difference between lower point of chisel and blade of case; *h*<sub>1</sub> – difference of depth between extreme points *a* and *b*

Долота с разной толщиной по длине кромки лезвия выпускают такие фирмы, как *Kverneland* (Норвегия), *Unia* (Польша) и ряд других [6]. Аналогичные детали можно изготовить вырезкой из листового проката, однако при этом увеличивается количество технологических операций и растет их стоимость.

Недостатком изложенных методов изготовления является относительно низкая производительность, что при массовом производстве потребует строительство дополнительных мощностей.

Значительно более высокая производительность достигается, если изготавливать детали из прокатной полосы.

На рисунке 2 представлена схема отрезка полосы для изготовления лемешных долот.

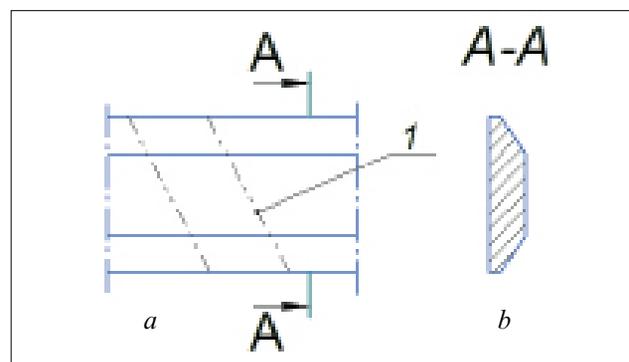


Рис. 2. Схема прокатной полосы для изготовления лемешных долот: *a* – вид сверху; *b* – поперечное сечение полосы; 1 – контур долота

Fig. 2. Scheme of a rolled strip for ploughshare chisels production: *a* – top view; *b* – cross section of a strip; 1 – chisel contour

К недостатку подобной технологии изготовления долот следует отнести невозможность создания режущей кромки лезвия с разной толщиной в передней *a* и задней *b* точках лезвия (рис. 1). Для равномерного износа лезвия долота при указанном способе изготовления его необходимо установить таким образом, чтобы давление почвы также было равномерным по всей длине лезвия.

Это возможно при расположении лезвия долота на лемехе перпендикулярно направлению движения пахотного агрегата или стенке борозды. Тогда лезвие станет совершать лобовое резание почвы, и давление на обе крайние точки сравняется.

**Цель исследования** – обоснование расположения лезвия накладного долота по отношению к на-

правлению движения пахотного агрегата.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.** Прежде чем проводить анализ и делать какие-либо выводы, необходимо учесть, что линия кромки лезвия долота относительно дна и стенки борозды имеет ряд противоречивых особенностей.

При установке долота на остове лемеха, наклоненного в рабочем состоянии под углом ко дну борозды, лезвие долота располагается крайними точками на разных уровнях по глубине (рис. 1). Точка *b* в большинстве случаев расположена ниже точки *a*, иногда на одной линии в горизонтальной плоскости, но при этом эффективность работы положительна только с предварительным разуплотнением почвенной подошвы. Поэтому, принимая во внимание, что дно борозды имеет повышенную твердость и давление выше в зоне нижней части лезвия долота (ближе к точке *b*), необходимо делать поправку на разницу значений данных факторов между этими двумя зонами.

При вспашке суглинистых и супесчаных почв средней полосы России наиболее распространена глубина обработки 20-25 см. Наблюдается близкая к линейной зависимость роста давления и твердости почвы, которые резко увеличиваются в нижней зоне кромки лезвия из-за трения о почвенную подошву [7]. Полевые испытания показали, что на среднесуглинистых почвах твердостью 2,8-3,4 МПа с увеличением толщины нижней кромки в точке *b* с 2 до 8 мм тяговое сопротивление плуга возрастало на 7-12%. Отметим, что с учетом наклона леме-

тически мало зависела от толщины кромки лезвия долота в точке *a* в пределах от 2 до 6 мм. Ее рост составил 1,0-1,6%. Вылет долота по отношению к лезвию остова *h* имел постоянную величину и составлял 40 мм по высоте от нижней точки лезвия долота *b* до лезвия остова (рис. 1). Величина  $h_1$  – разность между глубиной в верхней точке лезвия долота *a* и нижней *b* – изменялась от 10 до 30 мм.

Ширина лезвия долота не изменялась и составляла 60 мм.

На производимых в настоящее время плужных лемехах с накладным долотом различие между глубиной установки крайних точек лезвия долота колеблется от 10 до 40 мм. Оно обусловлено в основном почвенно-климатическими зонами, где эксплуатируется почвообрабатывающая техника.

Многочисленными испытаниями установлено, что тяжелосуглинистые и супесчаные почвы пониженной влажности быстро – в течение 1-3 лет – образуют твердую (более 4 МПа) почвенную подошву [8, 9]. Поэтому каждые 2-3 года ее необходимо разрушать глубокорыхлителями или чизельными плугами. На таких почвах лучшие показатели имеют долота с большим перепадом по глубине между крайними точками лезвия. Происходит частичное разрушение нарастающей почвенной подошвы, и вспашку легче будет проводить в следующем году. При вспашке легких и средних почв перепад глубины между крайними точками лезвия долота предпочтительнее уменьшать для снижения тягового сопротивления лемеха.

Результаты полевых испытаний лемехов с накладными долотами RESULTS OF FIELD TESTS OF PLOUGHSHARES WITH OVERLAID CHISELS						
Перепад по глубине между крайними точками лезвия долота, <i>h</i> , мм Difference of depth between extreme points of chisel edge, <i>h</i> , mm	Тяговое сопротивление плуга, кН Plowing resistance, kN		Средняя наработка на лемех до <i>h</i> = 0, га Ploughshare average lifelength until <i>h</i> = 0, ha		Нарработка до предельного состояния долота, га Average lifelength until chisel extreme limit state, ha	
	л.с.*	т.с.**	л.с.	т.с.	л.с.	т.с.
1	2	3	4,0	5,0	6,0	7,0
10	14,4	22,5	17,9	20,3	22,0	24,9
15	14,8	23,0	21,6	24,6	29,7	32,5
20	15,0	23,8	25,9	28,1	32,2	36,1
25	15,7	24,5	27,1	32,6	33,5	38,7
30	16,3	25,3	30,5	34,4	34,2	39,8

\*легкосуглинистые почвы/light loam  
 \*\*тяжелосуглинистые/heavy loam

ха под углом ко дну борозды фактическая толщина составляла  $h = h_0 \sin f$ , где *f* – угол установки долота и лемеха в носовой части (угол резания);  $h_0$  – перепад глубины в точках *a* и *b* в плоскости лемеха. При испытаниях устанавливали глубину обработки почвы 22 см.

Величина тягового сопротивления плуга прак-

В таблице представлены результаты измерения тягового сопротивления и наработок лемехов с накладным долотом, эксплуатировавшихся на двух типах почв: легкосуглинистых с участками супесей твердостью 2,5-2,7 МПа, и тяжелосуглинистых твердостью 2,8-4,1 МПа. Средняя глубина пахоты составляла 22 см.

Программа и методика испытаний в основном включали уже известные пункты [10, 11]. Отличительной особенностью лемешных долот стало различие перепада глубины  $h$  резания у крайних точек лезвия долота (рис. 3). Глубина зависела от углов между лезвием и гранями долота в точках  $a$  и  $b$ .



Рис. 3. Общий вид лемеха и фрагменты его остова с различными вариантами долот

Fig. 3. General view of ploughshare and fragments of its body with various options of chisels

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.** Испытания проходили в два этапа. Измерения тягового сопротивления плуга со всеми вариантами долот сначала проводили на легких почвах, твердостью 2,5-2,7 МПа, затем на тяжелых, твердостью 2,8-4,1 МПа.

Результаты полевых испытаний показали, что на легкосуглинистых почвах, содержащих частично супесчаные участки, минимальное тяговое сопротивление имели плуги, оснащенные лемехами с долотами, для которых характерны наименьшие перепады по глубине (в нашем случае 10-15 мм). Доказано, что с увеличением перепада до 30 мм тяговое сопротивление возросло в среднем на 5,5% (рис. 4). Причем его повышение происходило по зависимости, близкой к линейной, в диапазоне перепада глубины от 10 до 30 мм.

Наблюдения за работой опытных лемехов позволили также выявить, что отношение давления почвы между крайними точками лезвия долота значительно превышает отношение между тяговым сопротивлением плуга с лемехами, оснащенными различными вариантами долот (с перепадом по глубине крайних точек лезвия долот от 10 до 30 мм).

Такой вывод получен вследствие разницы в износе лезвия долота на его крайних точках, когда лезвие сравнивалось по линии в горизонтальной плоскости после прохождения 15-17 га в зависимости от его начального перепада (рис. 5).

На тяжелосуглинистых почвах твердостью

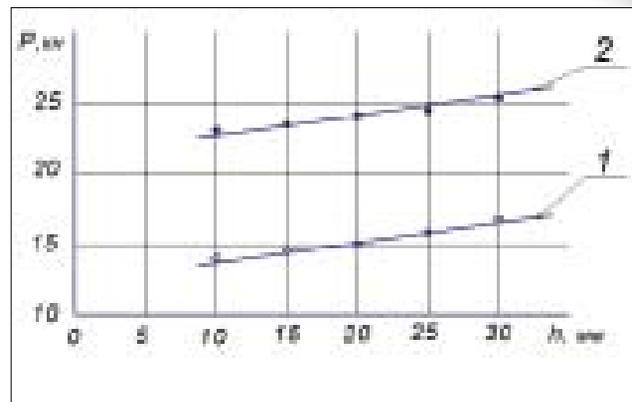


Рис. 4. Зависимость тягового сопротивления от перепада глубины между крайними точками лезвия долота:

1 – легкий суглинок; 2 – тяжелый суглинок

Fig. 4. Dependence of plowing resistance on difference of depth between extreme points of chisel edge:

1 – light loam; 2 – heavy loam

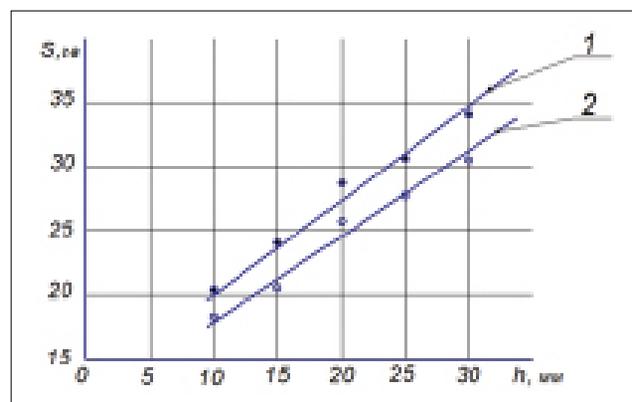


Рис. 5. Зависимость наработки от перепада глубины между крайними точками лезвия долота:

1 – легкий суглинок; 2 – тяжелый суглинок

Fig. 5. Dependence of lifelength on difference of depth between extreme points of chisel edge:

1 – light loam; 2 – heavy loam

3,5 МПа и более характер тягового сопротивления плуга в зависимости от перепада глубины между крайними точками лезвия долота мало изменился. Увеличились лишь значения тяговых сопротивлений, что неудивительно при сравнении твердости подобных типов почв (имеется в виду легких и тяжелых). Однако выравнивание крайних точек лезвия долота по линии в горизонтальной плоскости происходит несколько позже, приблизительно после 17-20 га наработки на лемех. Тяжелосуглинистые и глинистые почвы уступают более легким почвам (легкосуглинистым, супесчаным) по интенсивности изнашивания лезвий почворезущих деталей, так как в их механическом составе меньше твердых абразивных частиц [12]. Но это только один из аспектов. Второй заключается в характере разрушения пласта, например, при вспашке, где почвенные фрагменты, переходящие с лемеха на от-

вальную поверхность, как правило, имеют крупные размеры [13].

Это связано с большей длиной первичной трещины отрыва, образующейся на тяжелосуглинистых почвах. Средняя нагрузка на лезвие долота уменьшается из-за частичного его перемещения по ослабленному в зоне трещины слою почвы.

Данное положение не рассматривается для почв повышенной влажности, где отрыв нередко переходит в сливную стружку [14]. В таких случаях характер разрушения почвенного пласта существенно меняется [15, 16].

По результатам полевых испытаний, проведенных на легких и тяжелых почвах, можно рекомендовать для подобных почвенных условий в конструктивном плане накладные долота к лемехам для плугов общего назначения.

При этом угол между лезвием долота и стенкой борозды должен быть прямым, а перепад по глубине установки лезвия долота между крайними точками на линии, пересекающей лезвие и боковые грани долота, должен находиться в интервале 15-20 мм.

### Выводы

1. Накладное долото плужного лемеха играет решающую роль в обеспечении его работоспособности и в выполнении агротехнических требований по глубине вспашки.

2. Долота лемехов предпочтительно изготавливать методом штамповки для небольших партий и вырубки из прокатной полосы – для массового производства.

3. Оптимальное расположение лезвия долота достигается его установкой под углом, близким к 90° относительно стенки борозды.

4. Увеличение толщины нижней кромки лезвия долота способствует росту тягового сопротивления плуга.

5. На легких почвах износ нижней кромки лезвия долота превышает износ верхней кромки в 3,0-3,2 раза до выравнивания обеих кромок в горизонтальной плоскости; на тяжелых – это отношение составляет 2,4-2,8 раза.

6. Оптимальный перепад по глубине между верхней и нижней кромкой на новых долотах составил 15-20 мм для почвенных условий, в которых проводили полевые испытания.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Лискин И.В., Миронов Д.А., Сидоров С.А. Равновесие плуга в продольно-вертикальной плоскости // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2014. №6. С. 41-46.
- Лобачевский Я.П., Лискин И.В., Сидоров С.А., Миронов Д.А., Курбанов Р.К. Разработка и технология изготовления почвообрабатывающих рабочих органов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2016. №4. С. 3-8.
- Лискин И.В., Миронов Д.А., Миронова А.В., Курбанов Р.К. Новый лемех с накладным долотом // *Сельский механизатор*. 2016. №2. С. 6-7.
- Бернштейн Д.Б., Лискин И.В. Лемехи плугов. Анализ конструкций, условий изнашивания и применяемых материалов // *Тракторы и сельхозмашины*. 1992. №4. С. 35-38.
- Миронов Д.А. Анализ конструктивных параметров лемехов плугов для почвообработки // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2013. №4. С. 48.
- Лискин И.В., Миронов Д.А. Влияние почвенных условий на износ рабочих органов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2013. №5. С. 29-31.
- Жук А.Ф. Влияние почвенного нароста на работу клина // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2013. №3. С. 24-29.
- 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.
- Лобачевский Я.П., Старовойтов С.И. Горизонтальная составляющая тягового сопротивления плужного корпуса // *Интеллектуальные машинные технологии и техника для реализации Государственной программы развития сельского хозяйства*: Сборник научных докладов Международной научно-технической конференции. М.: ВИМ, 2015. С. 189-194.
- Лискин И.В., Миронов Д.А., Сидоров С.А., Терновский А.А., Верещага И.Н. Об особенностях работы и изнашивания плужных лемехов с накладным долотом // *Интеллектуальные машинные технологии и техника для реализации Государственной программы развития сельского хозяйства*: Сборник научных докладов Международной научно-технической конференции. М.: ВИМ, 2015. С. 80-85.
- Лискин И.В., Миронов Д.А., Сидоров С.А., Поткин С.Н., Еремин П.А. Обоснование и разработка нового плужного лемеха конструкции ВИМ // *Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий*: Сборник научных докладов Международной научно-технической конференции. М.: ВИМ, 2014. С. 101-104.
- Жалнин Э.В. Земледельческая механика в начале ХХI века // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2009. №6. С. 43-47.
- Izmailov A.Yu., Liskin I.V., Lobachevsky Ya.P., Sidorov S.A., Khoroshenkov V.K., Mironova A.V., Luzhnova E.S.



Simulation of soil-cutting blade wear in an artificial abrasive environment based on the similarity theory. *Russian Agricultural Sciences*. 2017. V. 43; 1: 71-74.

14. Синекоков Г.Н., Панов И.М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. М.: Машиностроение, 1977. 328 с.

15. Mehari Z., Randy L., Ernest W., Thomas R. Effect of Soil Moisture, Soil Density, and Cone Penetrometer Material on Finite Element Prediction of Soil Hardpan Depth

// Written for presentation at the 2005 ASAE Annual international Meeting Sponsored by ASAE Tampa Convention Center Nampa, Florida. 2005: 1012-1024.

16. Hettiaratchi D.R.P. The Soil Contract Zones of Concave Agricultural Discs: Part 2. Calculation Procedures // Department of Agricultural and Environmental science, The University of Newcastle upon Tyne, Newcastle upon Tyne, NE1 ZRU, UK. 1997: 811-814.

## REFERENCES

1. Liskin I.V., Mironov D.A., Sidorov S.A. Plow balance in the longitudinally vertical plane. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2014; 6: 41-46. (In Russian)

2. Lobachevskiy Ya.P., Liskin I.V., Sidorov S.A., Mironov D.A., Kurbanov R.K. Working out and production technique of soil cultivating working tools. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2016; 4: 3-8. (In Russian)

3. Liskin I.V., Mironov D.A., Mironova A.V., Kurbanov R.K. New ploughshare with the overlaid chisel. *Sel'skiy mekhanizator*. 2016; 2: 6-7. (In Russian)

4. Bernshteyn D.B., Liskin I.V. Ploughshares. Analysis of designs, conditions of wear and applied materials. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 1992; 4: 35-38. (In Russian)

5. Mironov D.A. Analysis of design factors of plow ploughshares for a soil cultivating. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2013; 4: 48. (In Russian)

6. Liskin I. V., Mironov D. A. Influence of soil conditions on wear of working tools. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2013; 5: 29-31. (In Russian)

7. Zhuk A.F. Influence of soil build-up on wedge work. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2013; 3: 24-29. (In Russian)

8. 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)

9. Lobachevskiy Ya.P., Starovoytov S.I. Horizontal component of traction resistance of plow base. *Intellektual'nye mashinnye tekhnologii i tekhnika dlya realizatsii Gosudarstvennoy programmy razvitiya sel'skogo khozyaystva: Sbornik nauchnykh dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*. Moscow: VIM, 2015: 189-194. (In Russian)

10. Liskin I.V., Mironov D.A., Sidorov S.A., Ternovskiy A.A., Vereshchaga I.N. Ob osobennostyakh raboty i iz-nashivaniya pluzhnykh lemekhov s nakladnym dolotom [About features

of work and wear of plow ploughshares with bolt-on tine]. *Intellektual'nye mashiny tekhnologii i tekhnika dlya realizatsii gosudarstvennoy programmy razvitiya sel'skogo khozyaystva: Sb. dokl. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. Vol.1*. Moscow: VIM, 2015: 80-85. (In Russian)

11. Liskin I.V., Mironov D.A., Sidorov S.A., Potkin S.N., Eremin P.A. Ustification and working out of new plow ploughshare of VIM design. *Innovatsionnoe razvitie APK Rossii na baze intellektual'nykh mashinnykh tekhnologiy: Sbornik nauchnykh dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*. Moscow: VIM, 2014: 101-104. (In Russian)

12. Zhalnin E.V. Agricultural mechanics at the beginning of the XXI century. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2009; 6: 43-47. (In Russian)

13. Izmailov A.Yu., Liskin I.V., Lobachevskiy Ya.P., Sidorov S.A., Khoroshenkov V.K., Mironova A.V., Luzhnova E.S. Simulation of soil-cutting blade wear in an artificial abrasive environment based on the similarity theory. *Russian Agricultural Sciences*. 2017. V. 43. 1: 71-74. (In Russian)

14. Sineokov G.N., Panov I.M. Teoriya i raschet pochovoobrabatyvayushchikh mashin [Theory and design of soil-cultivating machines]. Moscow: Mashinostroenie, 1977: 328. (In Russian)

15. Mehari Z., Randy L., Ernest W., Thomas R. Effect of Soil Moisture, Soil Density, and Cone Penetrometer Material on Finite Element Prediction of Soil Hardpan Depth // Written for presentation at the 2005 ASAE Annual international Meeting Sponsored by ASAE Tampa Convention Center Nampa, Florida. 2005: 1012-1024. (In English)

16. Hettiaratchi D.R.P. The Soil Contract Zones of Concave Agricultural Discs: Part 2. Calculation Procedures // Department of Agricultural and Environmental science, The University of Newcastle upon Tyne, Newcastle upon Tyne, NE1 ZRU, UK. 1997: 811-814. (In English)

**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.