

**В. М. Константинов<sup>1</sup>, Г. А. Ткаченко<sup>2</sup>, В. В. Голдыбан<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Белорусский национальный технический университет*  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: materialovedenie@tut.by

<sup>2</sup> *Белорусский государственный университет*  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: hleb\_tkachenko@mail.ru

<sup>3</sup> *РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»*  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: labpotato@mail.ru

### **ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОЗАТАЧИВАНИЯ НАПЛАВКОЙ ПЛУЖНЫХ ЛЕМЕХОВ**

*Аннотация.* Представлены результаты изучения самозатачивания наплавленных плужных лемехов. Представлены материаловедческие резервы обеспечения самозатачивания за счет регулирования износостойкости наплавленного слоя и стальной основы. Показано, что применение борсодержащих сплавов высокой абразивной износостойкости позволяет повысить твердость стальной основы и обеспечить повышение общего ресурса наплавленного лемеха.

Отмечено, что существенным фактором реализации эффекта самозатачивания плужных лемехов является стабильность обрабатываемого почвенного слоя. Разнообразие почвенных условий Беларуси, даже в пределах одного региона, создает определенные сложности реализации самозатачивания. Наиболее эффективно применение наплавленных плужных лемехов в условиях стабильного состава тяжелых почв с высоким абразивным воздействием.

*Ключевые слова:* наплавка износостойких борсодержащих материалов, самозатачивание, повышение твердости и износостойкости, ресурс эксплуатации плужных деталей.

**V. M. Konstantinov<sup>1</sup>, H. A. Tkachenko<sup>2</sup>, V. V. Goldyban<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Belarusian National Technical University*  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: materialovedenie@tut.by

<sup>2</sup> *Belarusian State University*  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: hleb\_tkachenko@mail.ru

<sup>3</sup> *RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"*  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: labpotato@mail.ru

### **SELF-SHARPENING PROVIDING BY SURFACING PLOWSHARES**

*Abstract.* The results of the study of self-sharpening of surfaced plowshares are presented. The material science reserves for ensuring self-sharpening by regulating the wear resistance of the deposited layer and the steel base are presented. It is shown that the use of boron-containing alloys, high abrasive wear resistance makes it possible to increase the hardness of the steel base and ensure an increase in the total life of the deposited plowshare.

It is noted that a significant factor in the realization of the self-sharpening effect of plowshares is the stability of the treated soil layer. The variety of soil conditions in Belarus, even within the same region, creates certain difficulties in the implementation of self-sharpening. The most effective use of surfaced plowshares is in conditions of stable composition of heavy soils with high abrasive impact.

*Keywords:* surfacing of wear-resistant boron-containing materials, self-sharpening, increasing hardness and wear resistance, service life of plow parts.

## Введение

Плужные лемеха (ПЛ) являются быстро изнашиваемыми деталями, работающими в условиях интенсивного абразивного изнашивания. Ужесточение режимов эксплуатации при агрегатировании с современными тракторами сопровождается увеличением рабочих скоростей и нагрузок на рабочие поверхности, а следовательно, и увеличением интенсивности изнашивания. Кроме того, большая часть пашни Республики Беларусь обладает высокой изнашивающей способностью. Все перечисленные факторы обуславливают актуальность повышения долговечности плужных лемехов. Существенным аспектом долговечности является обеспечение самозатачивания в процессе работы.

## Основная часть

**Факторы, определяющие самозатачиваемость лезвия ПЛ в условиях интенсивного абразивного изнашивания.** Принцип действия самозатачивающегося лезвия известен давно. Так, например, в работах Рабиновича А.Ш. [1, 2] указано: «Такое лезвие состоит из двух слоев, материалы которых значительно отличаются по износостойкости. Режущий слой, толщина которого устанавливается в зависимости от агротехнических требований к детали, делается из более износостойкого материала. Второй слой из относительно мягкого, вязкого материала является несущим; его назначение – предохранять режущий слой от поломок. Износостойкий слой во время работы лезвия должен постоянно выступать на лезвии и резать почву (сорные растения или другие сельскохозяйственные материалы)». Создание самозатачивающихся лемехов и других режущих деталей основано на правильном подборе параметров лезвия для разных условий его работы. Масштабные исследования, проведенные ГОСНИТИ, позволили установить зависимости угла самозатачивания лезвия от величины комплексного параметра самозатачиваемости  $\omega$ , определяемого по формуле (1):

$$\omega = \frac{\varepsilon_2 \times h_2}{\varepsilon_1 \times h_1}, \quad (1)$$

где  $\omega$  – критерий самозатачиваемости лезвия ПЛ, зависящий от типа обрабатываемой почвы;  $\varepsilon_1$  – абразивная износостойкость основного материала лезвия;  $\varepsilon_2$  – абразивная износостойкость упрочняющего слоя лезвия;  $h_1$  – толщина основного слоя лезвия, мм;  $h_2$  – толщина упрочняющего слоя лезвия, мм.

Условие (1) можно представить в показателях массового износа:

$$\omega = \frac{i_1 \times h_2}{i_2 \times h_1}, \quad (2)$$

где  $i_1$  – массовый износ основного материала лезвия, г;  $i_2$  – массовый износ материала упрочняющего слоя лезвия, г.

Следует отметить, что возможности для обеспечения самозатачиваемости лезвия ПЛ несколько ограничены. Толщина основного слоя лезвия определена конструкцией ПЛ, также ограничены возможности существенного изменения износостойкости (рис. 1).

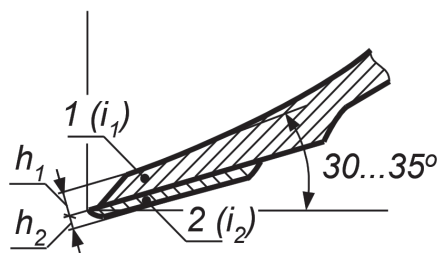


Рис. 1. Схема работы двухслойного лезвия ПЛ: 1 – основной (несущий) слой лезвия; 2 – наплавленный (упрочняющий) слой лезвия;  $i_1$  – массовый износ основного металла лезвия, г;  $i_2$  – массовый износ материала упрочняющего слоя, г

Абразивную износостойкость стальной основы ПЛ возможно изменить термической обработкой, а толщину упрочняющего слоя ПЛ обеспечить способом его формирования. Очевидно, что наибольшие перспективы для обеспечения условия (2) представляются достижением необходимой (высокой) абразивной износостойкости упрочняющего слоя лезвия за счет оптимального выбора наплавочного сплава и режимов термической обработки основного материала.

Механический состав почв и размер гранул частиц являются ведущими факторами, влияющими на степень изнашивания материалов при обработке той или иной почвы. Советскими учеными ведущих сельскохозяйственных институтов на основе широкомасштабных полевых испытаний ПЛ и сопутствующих исследований были установлены относительные коэффициенты изнашивающего воздействия почв (табл. 1.). Широкий диапазон значений коэффициентов изнашивания объясняется влиянием влажности почвы на ее режущую способность. Как правило, с увеличением влажности почвы ее изнашивающая способность снижается.

Оптимальные значения критерия самозатачиваемости  $\omega$ , при которых, согласно данным ГОСНИТИ, обеспечивается реализация эффекта самозатачивания лезвия ПЛ, представлены в табл. 2.

Таблица 1. Относительный коэффициент изнашивающего воздействия почв

Почвы	Максимальная молекулярная влагоемкость	Относительный коэффициент изнашивающего воздействия почв
Песок и легкая супесь	<5	>44,2
Тяжелая супесь	5...8	44,2...19,6
Легкий суглинок	8...12	19,6...7,0
Средний суглинок	12...16	7,0...2,6
Тяжелый суглинок	16...24	2,6...1,0
Глина	>24	1,0

Таблица 2. Приблизительные оптимальные значения критерия самозатачиваемости  $\omega$

Почвы	Значения $\omega$
Песок и легкая супесь	6,0
Тяжелая супесь	5,0
Легкий суглинок	4,0
Средний суглинок	3,0
Тяжелый суглинок	2,0
Глина	1,5

**Опыт упрочнения наплавкой плужных лемехов.** Значительную часть пахотного фонда Республики Беларусь составляют почвы с высокой изнашивающей способностью: тяжелые супеси (34% от общей площади пахотных земель), легкие суглинки (25%) и средние суглинки (27%). Таким образом, разработка технологии упрочнения и ее практическое применение весьма актуальны для республики.

В статье описан авторский опыт изучения самозатачивания наплавленных ПЛ.

Общеизвестна эффективность [3–11] упрочнения ПЛ наплавкой износостойкими сплавами, позволяющей значительно увеличить долговечность за счет высокой износостойкости рабочих поверхностей. Широкое применение получили технологии индукционной (НПО «Анитим», «Алтайсельмаш», Россия; ПО «Одессапочвомаш», Украина) и электродуговой (ВНИИТУВИД «Ремдеталь», Россия; «International Harvester», США; «Rabewerk», Германия и др.) наплавки ПЛ. В Беларуси также были созданы технологии упрочнения ПЛ намораживанием и путем погружения разогретой заготовки в порошкообразную шихту и последующего ее оплавления (УО «БГАТУ», ОИМ НАН Беларуси).

Особенностями авторской разработанной технологии индукционной наплавки ПЛ явилось применение специально синтезированных наплавочных борсодержащих сплавов из стальной и чугуновой стружки, а также согласованная термическая обработка стальной основы и наплавленного слоя (рис. 2). Возможность изменения химического состава наплавленного слоя в широком

диапазоне концентраций позволила получить различное соотношение износостойкости стальной основы и наплавки для детального изучения возможностей самозатачивания.



Рис. 2. Макрошлиф наплавленного плужного долота (производство Минского завода шестерен)

### Результаты полевых испытаний ПЛ

Для оптимизации геометрических параметров лезвия в различных почвенно-климатических условиях и определения эксплуатационных характеристик ПЛ были проведены полевые испытания в различных почвенно-климатических условиях при вспашке старопахотных супесчаных, суглинистых и торфянистых почв [12].

Было установлено, что линейный износ ПЛ, наплавленных борсодержащим авторским сплавом с последующей термической обработкой, в 2,43 раза меньший, чем стандартных ПЛ из стали Л53, и в 1,8 раз меньший, чем износ ПЛ, наплавленных сормайтотом. Режущая кромка лезвия упрочненного ПЛ оставалась острой в течение всего периода испытаний, что и обусловило стабильное качество вспашки, отмеченное механизаторами-испытателями. Угол клина лезвия составил 32...35 градусов, что совпадает с известными данными других исследователей. Профилирование лезвий ПЛ в период их испытаний позволило установить реализацию эффекта самозатачивания лезвий (рис. 3).

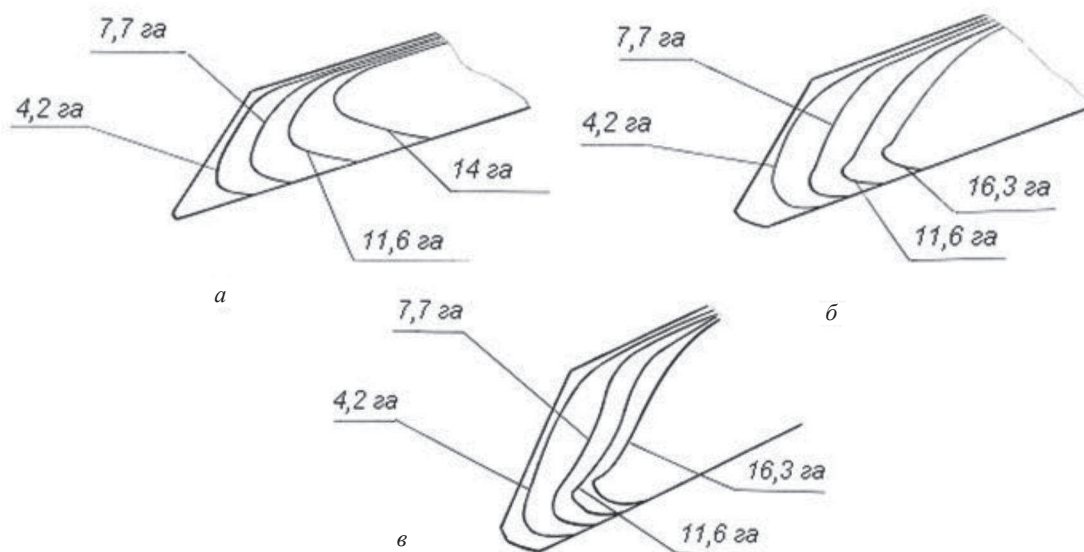


Рис. 3. Изменение профилей лезвий ПЛ в процессе работы: а – стандартный ПЛ из стали Л53; б – ПЛ с наплавкой сормайтот ПГ-С1; в – ПЛ с наплавкой борсодержащим порошком

После периода приработки, составляющего 4,2...7,7 га вспашки, профиль лезвия упрочненного ПЛ стабилизируется, наплавленный слой выступает на режущей кромке, а на слое основного металла образовывается верхняя фаска, отклоненная назад под острым углом. Оптимальные режимы термической обработки ПЛ не позволили наплавленному слою выступать из-под несущего слоя основного металла более чем на 2...3 мм, вследствие чего не происходила «отломка» слоя твердого сплава.

Результаты испытаний свидетельствуют о том, что упрочнение ПЛ трапецидального типа, устанавливаемых на плугах с долотом, еще более эффективно. В этом случае большую часть нагрузки воспринимает долото, а лезвие ПЛ изнашивается в менее жестких условиях и приращение износо-

стойкости по отношению к закаленной стали более существенно. Долговечность упрочненных ПЛ в 4...6 раз выше, чем неупрочненных ПЛ. Результаты полевых испытаний представлены в табл. 3.

Таблица 3. Долговечность ПЛ при полевых испытаниях

Тип ПЛ	Тип почв	Долговечность ПЛ		$S_2/S_1$
		стандартных $S_1$	упрочненных $S_2$	
П702	супесчаные	13	23 (20)*	1,8 (1,5)
ПГ03.00	супесчаные	20	73	3,7
П702	суглинистые	10	40	4,0
ПГ03.00	суглинистые	18	60	3,3
ПГ03.00	суглинистые	13	63	4,8
ПГ03.00	суглинистые	10	48	4,8
ПГ03.00	суглинистые	11	50	4,5
ПГ03.00	суглинистые	12	52	4,3
ПГ03.00	суглинистые	12	50	4,2

\* В скобках указана долговечность ПЛ, упрочненных сормайтотом У30Х28Н4С4

Очевиден факт значительного повышения (в 1,8...4,8 раза) долговечности ПЛ, упрочненных наплавкой борсодержащими сплавами с последующей термической обработкой ( $S_2$ ). Эффективным оказалось упрочнение ПЛ, обрабатывающих суглинистые почвы, характеризующиеся пониженной изнашивающей способностью. Это обусловлено тем, что эксплуатирующиеся в данных почвенно-климатических условиях стандартные ПЛ не вырабатывают свой ресурс по износостойкости до конца, а преждевременно выбраковываются по причине катастрофического затупления лезвия и необеспечения технологических характеристик вспашки (рис. 3, а). В то же время упрочненные ПЛ вследствие реализации эффекта самозатачивания лезвия не теряют работоспособность на протяжении всего периода эксплуатации и обеспечивают стабильные тяговые показатели и качество вспашки (рис.3, б, в).

### Заключение

Уточнены условия самозатачивания наплавленных плужных лемехов. Представлены материалы резервы обеспечения самозатачивания за счет регулирования износостойкости наплавленного слоя и стальной основы. Применение борсодержащих сплавов, имеющих экстремально высокую абразивную износостойкость, позволяет повысить твердость стальной основы и обеспечивает повышение общего ресурса наплавленного лемеха.

Использование для упрочнения плужных лемехов наплавки и термической обработки позволяет отказаться при их изготовлении от традиционно применяемой стали 65Г в пользу более доступных среднеуглеродистых сталей. В этом случае возможно рациональное разделение функций между основным и упрочняющим слоем лемеха. Сталь основного слоя обеспечивает конструктивную прочность детали, а наплавленный слой – высокую абразивную износостойкость

Существенным фактором реализации эффекта самозатачивания плужных лемехов является стабильность обрабатываемого почвенного слоя. Разнообразие почвенных условий Беларуси, даже в пределах одного региона, создает определенные сложности реализации самозатачивания. Наиболее эффективно применение наплавленных плужных лемехов в условиях стабильного состава тяжелых почв с высоким абразивным воздействием. Для легких условий почвообработки (культивирование и др.) целесообразно применять другие приемы самозатачивания.

### Список использованных источников

1. Рабинович, А. Ш. Элементарная теория и методика проектирования самозатачивающихся почворезущих лезвий // Тракторы и сельхозмашины. – 1961. – № 10. – С. 24–27.
2. Рабинович, А. Ш. Самозатачивающиеся плужные лемехи и другие почворезущие детали машин. – М.: Бюро технической информации ГОСНИТИ, 1962. – 106 с.
3. Каплун, Г. П. Вопросы долговечности деталей плуга // Вопросы сельскохозяйственной механики / Под ред. М. Е. Мазепуро, Б. Н. Янушкевича. – Минск: Гос. изд-во с.-х. литры БССР, 1962. – Т. 8. – Гл. 3. – С. 102–168.

4. Бетень, Г. Ф. Повышение долговечности почворезущих элементов сельскохозяйственной техники наплавкой, намораживанием. – Минск: БелНИИНТИ, 1986. – 44 с.
5. Products & Equipment [Электрон. ресурс] / John Deere Company. – Режим доступа: [www.deere.com](http://www.deere.com). – Дата доступа: 20.09.2022.
6. Product Areas [Электрон. ресурс]: Welcome to the Future of Farming / Kverneland Group. – Режим доступа: [www.kvernelandgroup.com](http://www.kvernelandgroup.com). – Дата доступа: 20.09.2022.
7. Produkte [Электрон. ресурс] / Rabe Agrarsysteme GmbH & Co. KG. – Режим доступа: [www.rabe-agrarsysteme.com](http://www.rabe-agrarsysteme.com). – Дата доступа: 20.09.2022.
8. Восстановление деталей машин: Справочник / Ф. И. Пантелеенко [и др.]; под ред. В. П. Иванова. – М.: Машиностроение, 2003. – 672 с.
9. Жабуренок, С. Н. Повышение долговечности плужных лемехов наплавкой диффузионно-легированными сплавами из чугуновой стружки и последующей термической обработкой: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.01 / Полоцкий гос. ун-т. – Новополоцк, 2004. – 20 с.
10. Константинов, В. М. Повышение износостойкости при упрочнении плужных лемехов диффузионно-легированной чугуновой стружкой / В. М. Константинов, Ф. И. Пантелеенко, С. Н. Жабуренок // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2003. – № 5. – С. 17–20.
11. Константинов, В. М. Борсоудержающие сплавы для защитных покрытий из металлоотходов: ресурсосберегающий потенциал разработки и применения // Механика машин, механизмов и материалов. 2014. – № 2. – С. 70–73.
12. Константинов, В. М. Комплексное обеспечение долговечности корпуса почвообрабатывающего плуга поверхностным и объемным упрочнением быстроизнашиваемых деталей / В. М. Константинов, Г. А. Ткаченко, В. Г. Щербачков // Перспективные материалы и технологии : монография : в 2 т. / Национальная академия наук Беларуси (Минск) ; под ред. В. В. Клубовича. – Витебск : ВГТУ, 2017. – Т. 2, гл. 17. – С. 324–341.

УДК 631.51

Поступила в редакцию 08.10.2022  
Received 08.10.2022

**Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: mehposev@mail.ru*

## **ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДИСКОВОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА К ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕМУ АГРЕГАТУ ДЛЯ ВЛАГОНАКОПЛЕНИЯ И ВЛАГОЗАДЕРЖАНИЯ НА СКЛОНОВЫХ ЗЕМЛЯХ**

*Аннотация.* В статье представлены результаты теоретических исследований по обоснованию основных параметров волнистого диска к почвообрабатывающему агрегату для влагонакопления и влагозадержания на склоновых землях, учитывающие качество и надежность технологического процесса, выполняемого диском при обработке верхнего слоя почвы.

*Ключевые слова:* дисковый рабочий орган, параметры, диаметр диска, ширина захвата, количество волн, растительные остатки.

**N. D. Lepeshkin, V. V. Mizhurin**

*RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: mehposev@mail.ru*

## **THEORETICAL SUBSTANTIATION OF THE PARAMETERS OF THE DISK WORKING BODY TO THE SOIL-CLOWING UNIT FOR MOISTURE ACCUMULATION AND MOISTURE RETENTION ON SLOPE LANDS**

*Abstract.* The article presents the results of theoretical studies on the justification of the main parameters of the wavy disk to the tillage unit for moisture accumulation and moisture retention on sloping lands, taking into account the quality and reliability of the technological process performed by the disk when processing the topsoil.

*Keywords:* disk working body, parameters, disk diameter, capture width, number of waves, plant residues.