

УДК 631.316.022

## ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СТРЕЛЬЧАТЫХ ЛАП ПАРОВЫХ КУЛЬТИВАТОРОВ

**К.В. Борак,***зам. директора Житомирского агротехнического колледжа, канд. техн. наук (г. Житомир, Украина)***С.М. Герук,***зав. каф. агроинженерии Житомирского агротехнического колледжа,  
канд. техн. наук, доцент, ст. науч. сотр. (г. Житомир, Украина)***И.С. Крук,***проректор по научной работе – директор НИИМЭСХ БГАТУ, канд. техн. наук, доцент*

*В статье приведены результаты экспериментальных исследований износостойкости и долговечности стрельчатых лап паровых культиваторов. Определены рациональные конструктивные, технологические и эксплуатационные методы повышения долговечности стрельчатых лап культиваторов с учетом почвенно-климатических условий их эксплуатации.*

*Ключевые слова: стрельчатая лапа, изнашивание, сталь, долговечность, упрочнение.*

*The article presents the results of experimental studies of wear resistance and durability of cultivator sweeps for broadcast tillage. Rational constructive, technological and operational methods have been determined to increase the durability of cultivator sweeps taking into account the soil and climatic operating conditions.*

*Keywords: cultivator sweep, wear, steel, durability, hardening.*

### Введение

В результате абразивного износа потери ВВП в развитых странах мира составляют от 1 до 4 % [1]. В агропромышленном комплексе наибольшему абразивному износу подвергаются рабочие органы почвообрабатывающих машин вследствие взаимодействия с почвенной средой. Почвообрабатывающие машины занимают одно из ведущих мест в структуре машинно-тракторного парка современных сельскохозяйственных предприятий. Потеря их работоспособного состояния во время проведения полевых работ вследствие нарушения сроков выполнения операций может существенно повлиять на урожайность. Поиск путей повышения долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин имеет большое значение для агропромышленного комплекса. Имеющаяся тенденция повышения рабочих скоростей машин, снижение их металлоемкости и повышение долговечности неразрывно связаны с проблемой износостойкости, влияющей на качество выполняемого технологического процесса [2].

Цель настоящей работы – поиск методов повышения долговечности и износостойкости стрельчатых лап культиваторов для сплошной обработки почвы с учетом почвенно-климатических условий и режимов их эксплуатации.

### Основная часть

Многофункциональные возможности стрельчатых лап привели к созданию большого количества их конструкций, отличающихся спецификой износа [3]. Процесс изнашивания культиваторных лап характеризу-

ется высокой интенсивностью из-за непосредственного контакта со сложной абразивной массой – почвой.

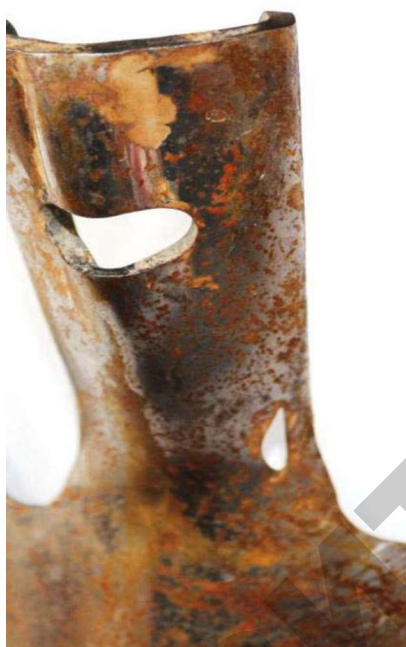
Основной причиной потери работоспособного состояния стрельчатых лап является износ носка и крыльев по ширине (рис. 1а). Возможны также и другие выбраковочные показатели (обламывания крыльев, износ крепежной части (рис. 1б), трещины и т.п.). Несмотря на то, что стрельчатые лапы – это симметричные рабочие органы, возможен неравномерный износ крыльев (рис. 1а), что связано с неправильной подготовкой агрегата к работе.

При эксплуатации стрельчатых культиваторных лап износ поверхности носит неоднородный характер. Носок лапы испытывает наибольшую нагрузку, соответственно и интенсивность его изнашивания будет выше, чем изнашивание других частей. При изготовлении культиваторных лап из стали 65Г, 70Г, 40ХС выбраковка лапы происходит из-за преждевременного износа носка. В процессе работы уменьшается его толщина и снижается прочность, что приводит к изгибу и обламыванию кончика носка (рис. 2).

В работе [4] установлено, что достижение предельного состояния стрельчатыми лапами, изготовленными из высококачественных износостойких сталей, определяется износами на 97 %, а изгибами, скручиваниями, трещинами и изломами – на 3 %. Зайцев С.А. в работе [5] приводит другую закономерность распределения предельного состояния для лап, изготовленных из сталей 65Г, 70Г, 40ХС, утверждая, что 60 % определяются износами, а 40 % приходится на изгибы, скручивания, трещины и изломы.



а)



б)

Рисунок 1. Причины потери работоспособного состояния стрелчатых лап: а – износ носка и крыльев по ширине (на примере новой и изношенной лап); б – износ крепежной части

Как известно, повысить долговечность и износостойкость деталей машин возможно тремя группами методов: конструктивными, технологическими и эксплуатационными. В результате обобщения информации по проблеме повышения долговечности стрелчатых лап, сделаны выводы, что свыше 90 % работ посвящены технологическим [3-10], около 8 % – конструктивным [4, 9] и приблизительно 2 % – эксплуатационным методам повышения долговечности. Работы, которые посвящены конструктивным методам, рассматриваются в комплексе с технологическими методами.



Рисунок 2. Носок культиваторной лапы после изгиба и обламывания

Анализ работ по повышению долговечности и износостойкости показал, что все они направлены на решение определенной локальной задачи, и не рассматривают системно вопрос повышения долговечности. Проблема повышения долговечности стрелчатых лап культиваторов должна решаться комплексным путем с разработкой технологических и конструктивных методов, которые будут учитывать как почвенно-климатические условия, так и применение научно обоснованных методов эксплуатации. Для внедрения комплексного подхода необходимо исследовать влияние на долговечность стрелчатых лап культиваторов всех значимых факторов (материал и способ упрочнения лапы, тип и состояние почвы, режимы эксплуатации).

Исследования особенностей изнашивания и долговечности стрелчатых лап проводили на трех типах почв на протяжении 2015-2018 годов. Опытные образцы лап устанавливались на паровом культиваторе John Deere 2210 (рис. 3), предназначенном для предпосевной и сплошной обработки почв.



Рисунок 3. Культиватор John Deere 2210

Стрелчатые лапы были изготовлены из высокоизносостойкой борсодержащей стали 28MnB5 и стали 65Г с различными вариантами упрочнения (табл. 1). Выбор

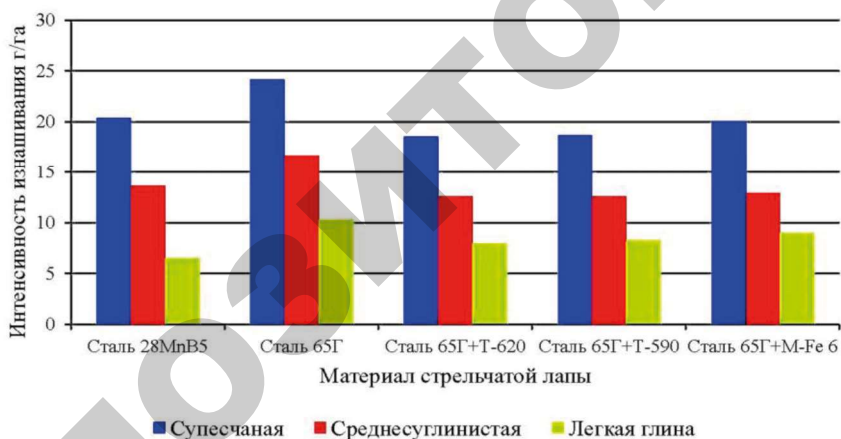
**Таблица 1. Условия проведения экспериментов**

Почвообрабатывающая машина	Тип почвы	Рабочий орган	Материал рабочего органа + износостойкий материал
Культиватор John Deere 2210	Супесчаная	15/5000 стрельчатая лапа	28MnB5
			65Г
	Среднесуглинистая		65Г+Т-620
			65Г+Т-590
Легкая глина	65Г+М-Fe 6		

стали 28MnB5 был обоснован широким использованием мировыми лидерами сельскохозяйственного машиностроения для производства рабочих органов почвообрабатывающих машин и ее повышенной стойкостью к абразивному изнашиванию [11].

Стрельчатые лапы, изготовленные из стали 28MnB5, эксплуатировались без изменения физико-механических свойств, заложенных заводами-изготовителями. Рабочие органы, изготовленные из стали 65Г, подвергались объемной закалке при температуре 810...830 °С и средним отпускком с очень точной выдержкой при температуре 460...480 °С. Износостойкое покрытие наносилось на лицевую сторону, ширина нанесенного слоя на носке была в 2,5...3 раза шире, чем на крыльях стрельчатой лапы. Покрытия наносили ручной дуговой сваркой электродами Т-620 и Т-590 в условиях мастерских сельскохозяйственных предприятий.

Поскольку в процессе изнашивания в почве рабочие органы изменяют свои размеры по длине и ширине, для объективной оценки износостойкости стрельчатых лап определяли интенсивность массового износа при наработке 10 га на одну лапу (рис. 4).



*Рисунок 4. Интенсивность изнашивания стрельчатых лап культиватора John Deere 2210 (наработка на одну лапу 10 га)*

Износостойкость стрельчатых лап культиваторов, изготовленных из стали 28MnB5, выше износостойкости стрельчатых лап, изготовленных из стали 65Г, на 18 % при эксплуатации в условиях супесчаных почв, на 23 % – в условиях суглинистой почвы и на 57 % – в условиях легкой глины. Нанесенные защитные покрытия существенно повышают износостойкость культиваторных лап. Так, в результате нанесения слоя электро-

дом Т-620 износостойкость повышается на 29...32 %, электродом Т-590 – на 25...32 % и М-Fe 6 – на 15...29 %. При износе защитного покрытия интенсивность изнашивания становится равной интенсивности изнашивания серийной стрельчатой лапы.

Следует отметить, что интенсивность изнашивания стрельчатых лап в первом ряду на 14,5...21,2 % больше интенсивности изнашивания лап во втором ряду. Это связано с уменьшением степени закрепления абразивных частиц в результате частичного разрушения слоя почвы. Увеличение интенсивности изнашивания на 24,2...38,4 % выше наблюдалось у стрельчатых лап, которые работают по следам трактора или сельскохозяйственной машины. Все это необходимо учитывать при установке стрельчатых лап на культиватор, для обеспечения устойчивости движения агрегата.

Возрастание скорости движения почвообрабатывающего агрегата приводит к увеличению интенсивности изнашивания [2]. Исследования износа стрельчатых лап были проведены при рабочих скоростях 8 км/ч, 10 км/ч и 13 км/ч (границы проведения исследований регламентируются техническими характеристиками культиватора John Deere 2210). Исследования проводились на супесчаных почвах, наработка на одну лапу составила 10 га. В результате было установлено отсутствие влияния изменения скорости движения агрегата на интенсивность изнашивания. Это объясняется незначительным увеличением скорости движения агрегата. Так, в работе [2] установлено, что с увеличением скорости движения в 4,7 раза износ на супесчаной почве возрастает только в 1,118 раза.

В результате проведенных испытаний обламывание крыльев и другие механические повреждения наблюдались при обработке супесчаных почв у всех экспериментальных образцов, кроме стрельчатых лап, изготовленных из стали 28MnB5. Механические повреждения связаны с большим количеством каменистых включений в почве. Поврежденные стрельчатые лапы не учитывались при расчете ресурса (рис. 5).

Использование стрельчатой лапы из высококачественной борсодержащей стали 28MnB5 позволило повысить ее долговечность по отношению к стрель-



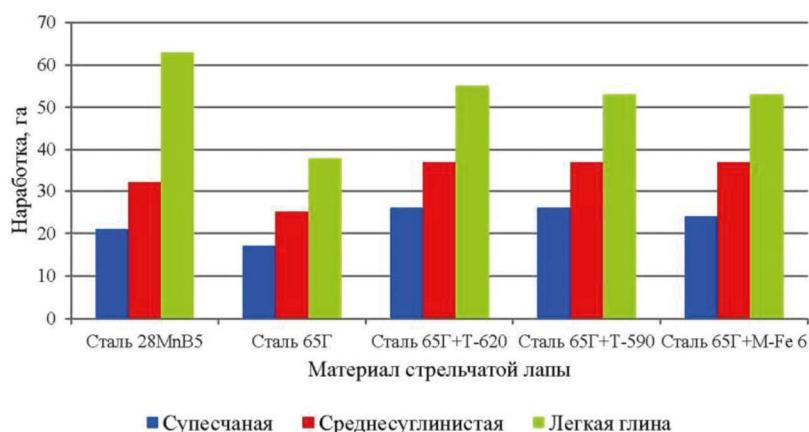


Рисунок 5. Ресурс стрелчатых лап

чатой лапе из стали 65Г при эксплуатации на супесчаных почвах на 24 %, средних суглинках – на 28 % и легкой глине – на 66 %.

Высокую эффективность увеличения долговечности стрелчатых лап при эксплуатации на супесчаных и суглинистых почвах показали износостойкие покрытия, нанесенные ручной дуговой сваркой электродами Т-590 и Т-620 (табл. 2).

Таблица 2. Повышение долговечности стрелчатых лап культиваторов

Почва	Величина повышения долговечности при использовании различных электродов, × раз		
	Т-620	Т-590	М-Fe 6
Супесчаная	1,53	1,53	1,41
Среднесуглинистая	1,48	1,48	1,48
Легкая глина	1,44	1,39	1,39

Следует отметить, что долговечность культиваторных лап из стали 28MnB5 выше долговечности упрочненных культиваторных лап при эксплуатации на глинистых почвах. При эксплуатации на супесчаных и среднесуглинистых почвах упрочненные лапы имеют большую долговечность, в сравнении с лапами из стали 28MnB5.

Следует отметить, что нанесение слоя на тыльную сторону способствует самозатачиванию и повышает ресурс стрелчатой лапы на 18 % в сравнении с нанесением износостойкого слоя на лицевую сторону [7]. В результате испытаний установлено, что долговечность культиваторных лап с нанесенным упрочняющим слоем с тыльной стороны выше долговечности культиваторных лап с упрочняющим слоем с ли-

цевой стороны только при эксплуатации на глинистых почвах. Величина увеличения находилась в пределах статистической погрешности и составляла 2,8 %. При эксплуатации таких лап на супесчаных и суглинистых почвах в результате быстрого износа материала основы наблюдались выступы упрочненного слоя, который при взаимодействии с твердыми элементами почвы обламывался. Долговечность таких лап оказалась в 1,6...1,9 раза меньше долговечности серийных лап.

Соотношение геометрических показателей нанесенного износостойкого слоя на носок и крылья стрелчатой лапы должно основываться на соотношении интенсивности изнашивания этих частей. Соотношение интенсивности изнашивания носка и крыльев определяли на серийной культиваторной лапе из стали 65Г (табл. 3).

Полученные результаты позволяют определить схему нанесения износостойких покрытий на стрелчатые лапы, учитывая почвенные условия их эксплуатации. При эксплуатации культиваторных лап на глинистых и среднесуглинистых почвах необходимо, чтобы износостойкий слой был в 2,5 раза шире и толще слоя, нанесенного на крылья лап. На супесчаных почвах геометрические размеры износостойкого слоя на носке и крыльях должны иметь соотношение 1,25/1. Достижение таких соотношений может быть реализовано не только нанесением износостойких покрытий, но и установлением съемного наконечника на носок стрелчатой лапы.

Исследования влияния степени закрепления абразивных частиц в почве на интенсивность изнашивания носка и крыльев проводились на супесчаной почве при различных условиях (табл. 4):

- участок после уборки озимой пшеницы;
- участок после уборки озимой пшеницы и вспашки (на следующий день после вспашки);
- участок после уборки озимой пшеницы и вспашки (на 48-й день после вспашки).

При использовании культиваторов только для предпосевной обработки (после вспашки) интенсивность изнашивания носка и крыльев будет отличаться только на 8 %, что необходимо учитывать при упрочнении стрелчатых лап.

В процессе эксплуатации, для качественного выполнения операции культивации, важно, чтобы

Таблица 3. Соотношение интенсивности изнашивания носка и крыльев культиваторных лап (наработка на одну лапу – 10 га, поле после рапса)

Место проведения замеров	Интенсивность изнашивания мм/га		
	Супесчаная	Среднесуглинистая	Легкая глина
Носок	0,85	0,57	0,37
Крылья	0,68	0,23	0,15
Соотношение между интенсивностью изнашивания носка и крыльев культиваторной лапы			
Носок/крылья	1,25	2,48	2,46

**Таблица 4. Соотношение интенсивности износа носка и крыльев стрелчатой лапы в условиях песчаной почвы при различных степенях закрепления абразивных частиц**

Условия проведения исследований	Соотношение между интенсивностью износа носка и лезвия
Участок после уборки озимой пшеницы	1,28
Участок после уборки озимой пшеницы и вспашки (на следующий день после вспашки)	1,08
Участок после уборки озимой пшеницы и вспашки (на 48-й день после вспашки)	1,21

стрелчатая лапа самозатачивалась. Соотношение толщины износостойкого покрытия и основного металла можно определить, используя результаты данных исследований, по разработанной А.Ш. Рабиновичем [12] методике.

#### **Заключение**

В результате проведенных исследований установлено:

- характер абразивного износа стрелчатой лапы культиваторов зависит от типа почвы, ее агрегатного состояния и режимов эксплуатации;
- нанесение износостойкого покрытия на лицевую сторону стрелчатой лапы культиваторов существенно увеличивает их долговечность, а нанесение на тыльную сторону целесообразно только при эксплуатации на глинистых почвах без каменистых включений;
- соотношении геометрических параметров износостойкого покрытия должно основываться на условиях и режимах эксплуатации;
- при эксплуатации культиваторов на глинистых почвах рекомендуется использовать стрелчатые лапы из стали 28MnB5, а на супесчаных и суглинистых – стрелчатые лапы из стали 65Г с износостойким покрытием на лицевой стороне.

#### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Tylczak, J.H. Abrasive wear / J.H. Tylczak // ASM Handbook. Materials Park, OH, ASM International. – 1992. – № 18 – P. 184-190.
2. Севернев, М.М. Износ и коррозия сельскохозяйственных машин / М.М. Севернев, Н.Н. Подлекарев, В.Ш. Сохадзе; под. общ. ред. М.М. Севернева. – Минск: Бел. наука, 2011. – 333 с.
3. Рыбалко, И.Н. Анализ напряженного состояния и технологические способы повышения ресурса

стрелчатых лап культиваторов / И.Н. Рыбалко, А.В. Тихонов, А.Д. Мартыненко, А.В. Сайчук // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. – 2016. – № 6. – С.118-131.

4. Фесько, С.А. Разработка технологии восстановления стрелчатых лап культиваторов для высева семян зерновых культур по подготовленной почве: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / С.А. Фесько. – Брянск, 2018. – 172 с.

5. Зайцев, С.А. Повышение износостойкости рабочих поверхностей лап культиватора газопламенным напылением с последующим оплавлением: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / С.А. Зайцев. – Москва, 2013. – 164 с.

6. Влияние параметров лезвия на долговечность лап культиватора / А. Козаченко [и др.] // Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – 2013. – Vol. 15. – № 7 – С. 61-66.

7. Новиков, В.С. Повышение долговечности стрелчатых лап культиваторов / В.С. Новиков, Д.И. Петровский // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высш. проф. образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2017. – № 4. – С. 49-55.

8. Виноградов, В.В. Повышение износостойкости стрелчатых лап почвообрабатывающих орудий карбовибродуговым упрочнением их режущих поверхностей: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / В.В. Виноградов. – Орел, 2017. – 156 с.

9. Скобло, Т.С. Анализ способов изготовления, упрочнения и восстановления стрелчатых лап культиватора / Т.С. Скобло, И.Н. Рыбалко, А.В. Тихонов, А.Д. Мартыненко // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. – 2019. – № 15. – С. 60-85.

10. Бобрицкий, В.М. Підвищення зносостійкості різальних елементів робочих органів ґрунтообробних машин: дис. канд. тех. наук: 05.02.04 / В.М. Бобрицкий. – Кировоград, 2007. – 182 с.

11. Kalacska, A. Abrasive wear behaviour of 27MnB5 steel used in agricultural tines / A. Kalacska, P. De Baets, D. Fauconnier, F. Schramm, L. Frerichs, J. Sukumaran // Wear. – 2020. – Vol. 442-443.

12. Рабинович, А.Ш. Самозатачивающиеся плужные лемехи и другие почворежущие детали машин / А.Ш. Рабинович. – М.: ГОСНИТИ, 1962. – 106 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 02.04.2020