

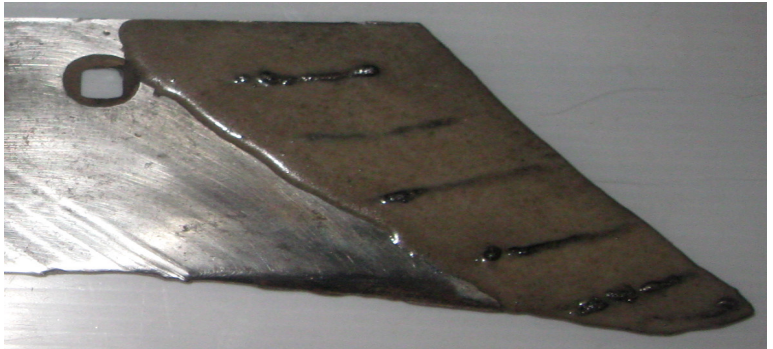
МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

ТРУДЫ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО  
ФАКУЛЬТЕТА



БРЯНСК 2015



МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

ТРУДЫ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО  
ФАКУЛЬТЕТА

БРЯНСК 2015

УДК 631.621.791.691.175.  
ББК 40.72  
К 64

Труды инженерно-технологического факультета. Под ред. д.т.н., проф. Михальченков А.М. – Брянск.: Издательство Брянского ГАУ, 2015. – с.156.

Труды содержат результаты многолетних исследований, проводимых кафедрой технологии материалов, надежности, ремонта машин и оборудования совместно с ГОСНИТИ под руководством д.т.н., профессора Михальченкова А.М. Материалы представляют отдельные статьи, объединенные единой тематикой, отражающей работы, направленные на увеличение ресурса и долговечности плужных лемехов методом армирования с созданием композиционной абразивостойкой рабочей поверхности. Они могут быть полезны ученым, работающим в области повышения надежности почвообрабатывающей техники, аспирантам, студентам и инженерам производителям.

Редакционный совет:

д.т.н., проф., Михальченков А.М. – главный редактор; технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве; БГАУ;

к.т.н. Тюрева А.А. - ответственная за выпуск; БГАУ;

д.сх.н., проф., Ториков В.Е. – вопросы сельского хозяйства; БГАУ;

д.т.н., проф., академик РАН Ерохин М.Н. – производство техники и методы расчета деталей машин; РГАУ-МСХА имени К.А.Тимирязева;

д.т.н., проф., Купреенко А.И. – технические системы в сельском хозяйстве; БГАУ;

д.э.н., проф., Кузьмин В.Н. – вопросы экономики в сельском хозяйстве; «Росинформагротех»;

д.т.н., проф., Христофоров Е.Н. – безопасность технических систем в сельском хозяйстве; БГАУ;

**ISBN 978-5-9903373-9-8**

© Коллектив авторов, 2015

© Брянский ГАУ, 2015

THE MINISTRY OF AGRICULTURE RUSSIAN FEDERATION  
FEDERAL

STATE BUDGETARY EDUCATIONAL INSTITUTION "BRYANSK  
STATE AGRICULTURAL UNIVERSITY"

PROCEEDINGS OF THE ENGINEERING-TECHNOLOGICAL  
FACULTY

BRYANSK 2015

UDK 631.621.791.691.175.

BBK 40.72

B 64

Proceedings of the engineering-technological faculty. Under the editorship of doctor of technical Sciences, Professor A. M. Mihalchenkov – Bryansk.: Publishing house of the Academy, 2015. – p. 152.

The papers contain results of research conducted by the Department of material technology, reliability and repair of machines and equipment together with] under the leadership of doctor of technical Sciences, Professor A. M. Mihalchenkov Materials are of a separate article on the same topic reflecting the work aimed at increasing the resource and durability of plow shares method of reinforcement with the creation of composite abrasion resistant work surface. They can be useful to scientists working in the field of improving the reliability of tillage equipment, graduate students, students and engineers to production workers.

Editorial Board:

Ph. D., Professor, Mihalchenkov A. M. – editor; technologies and means of technical maintenance in agriculture, Bgau;

Ph. D. Turewa A. A. - responsible for the release, Bgau;

D. sh.N., Professor, Torikov V. E. –agriculture, Bgau;

doctor of Sciences, Professor, academician of the RAS Erokhin M. N. – manufacture of machinery and methods of calculation of details of machines; RGAU-MSHA named after K. A. Timiryazev;

Ph. D., Professor, Kupreenko A. I. – technical systems in agriculture, Bgau;

doctor of Economics, Professor, Kuzmin V. N. – economic issues in agriculture, "Rosinformagrotech";

Ph. D., Professor, Khristoforov E. N. – safety of technical systems in agriculture, Bgau;

ISBN 978-5-9903373-9-8

©The authors, 2015

©The Academy, 2015

## СОДЕРЖАНИЕ

Комогорцев В.Ф., Тюрева А.А.

ТЕОРЕТИКО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ РАССМОТРЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ  
ЧАСТИЦ ЛЕГКОЙ ПОЧВЫ ПО АРМИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ.....9

Комогорцев В.Ф., Кожухова Н.Ю., Михальченкова М.А.

ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАПЛАВОЧНОГО АРМИРОВАНИЯ  
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ РАБОЧИХ  
ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ОРУДИЙ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К  
ТЯЖЕЛЫМ ПОЧВАМ.....44

Бирюлина Я.Ю., Михальченкова М.А.

ПРИМЕНЕНИЕ АБРАЗИВОСТОЙКИХ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ  
АРМИРОВАННЫХ ДИСПЕРСНЫМИ ЧАСТИЦАМИ ИЗ ПРИРОДНЫХ  
ПЕСКОВ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ (ОТВАЛЫ И  
КУЛЬТИВАТОРНЫЕ ЛАПЫ ДЛЯ ВЫСЕВА СЕМЯН).....77

Михальченков А. М.

ВАРИАНТЫ И ФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ СПОСОБОВ УПРОЧНЕНИЯ  
ПЛУЖНЫХ ЛЕМЕХОВ НАПЛАВОЧНЫМ И ДРУГИМИ МЕТОДАМИ  
АРМИРОВАНИЯ.....94

Козарез И.В., Ториков В.Е., Михальченкова М.А.

АНАЛИЗ И ОСОБЕННОСТИ ИЗНОСОВ ПЛУЖНЫХ ЛЕМЕХОВ  
РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ДИНАМИКА ИХ ИЗНАШИВАНИЯ...126

## CONTENT

Komogortsev V.F., Tyureva A.A.

THEORETICAL CONSIDERATION OF THE MOTION OF THE PARTICLES  
OF LIGHT SOIL REINFORCED SURFACE.....9

Komogortsev V.F., Kozhukhova N.Y., Mihalchenkova M.A.

RATIONALE FOR USE REINFORCEMENT FILLER TO INCREASE WEAR  
PARTS WORKING BODIES TILLAGE APPLIED TO HEAVY SOILS.....44

Biryulina Ya.Yu., Mihalchenkova M. A.

APPLICATION OF ABRASION RESISTANT EPOXY COMPOSITIONS  
REINFORCED WITH DISPERSED PARTICLES OF NATURAL SANDS FOR  
PARTS RECOVERY (BLADES AND CULTIVATOR FEET FOR PLANTING  
SEEDS).....77

Mihalchenkov A.M.

VARIANTS AND FUNCTIONAL WAY TO PLOWSHARES SURFACING  
HARDENING AND OTHER METHODS OF REINFORCEMENT.....94

Kozorez I.V., Toriko V.E., Mihalchenkova M.A

ANALYSIS AND FEATURES OF WEAR PLOWSHARES DIFFERENT  
STRUCTURES AND DYNAMICS OF THEIR WEAR.....126



## ТЕОРЕТИКО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ РАССМОТРЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ ЛЕГКОЙ ПОЧВЫ ПО АРМИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

*к.ф-м.н. Комогорцев В.Ф., к.т.н. Тюрева А.А.*

*ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, Россия.*

**Аннотация.** Результаты теоретических исследований посвящены ранее не разрабатываемым вопросам движения частицы почвы вдоль сферической поверхности; дальности полета частицы грунта, огибающей сферическую поверхность; взаимодействию рабочего органа с почвой после его наплавочного армирования; влиянию армирующих валиков на силу сопротивления перемещению армированной детали; влиянию армирующих валиков на величину износа. Изыскания позволили установить, что характер движения точки по окружности при наличии трения зависит от ее скорости. При скорости  $v_0 = 0$  она будет неподвижна в верхней точки окружности, оставаясь там. При малой скорости  $v_0$  и большому трению, точка остановится из-за трения на окружности. При  $V_0^2 = gR$  точка покинет окружность. Это произойдет независимо от того, имеется трение между точкой и поверхностью окружности или оно отсутствует. Путь, пройденный абразивной частицей зависит от высоты наплавленных валиков и скорости движения агрегата. Оптимальный путь движения частицы составляющий 0,3...0,4 м достигается при высоте валика 0,003 и 0,004 м и скорости движения трактора 4...6 км/ч. Наличие на поверхности наплавленных валиков оказывает незначительное влияние на силу сопротивления движению и не приведет к росту тягового сопротивления. Наплавочное армирование, обеспечивающее повышение износостойкости позволит уменьшить величину износа, определяющую предельное состояние и, тем самым, повысить наработку на одну деталь.

**Ключевые слова:** абразивная частица, легкая почва, армированная

поверхность, износ, предельное состояние, наплавленный валик.

## THEORETICAL CONSIDERATION OF THE MOTION OF THE PARTICLES OF LIGHT SOIL REINFORCED SURFACE

*Candidate of physical and mathematical sciences Komogortsev V.F., D.*

*candidate of technical sciences Tyureva A.A.*

*Bryansk State Agrarian University, Russia.*

**Annotation.** The results of theoretical studies devoted to issues not previously developed by the motion of the particle along the spherical surface of the soil; the flight range of the soil particles, the envelope of the spherical surface; Interaction of the working body with soil after reinforcing filler; the effect of reinforcing the strength of the resistance rollers moving parts reinforced; the effect of reinforcing ridges on the amount of wear. Surveys revealed that the nature of the motion of a point on the circumference of the presence of friction depends on its velocity. At speed  $v_0 = 0$ , it will be fixed in the top of the circle, staying there. At low speed  $v_0$  and the more friction breakpoints due to friction on the circle. When the point leaves the circle. This will happen regardless of whether there is friction between the point and the surface of a circle or it is absent. The path traversed by the abrasive particles depends on the height of the weld beads and the speed of the machine. The optimal path of motion of the particles is achieved 0,3–0,4 m at a height of 0,003 and 0,004 roller m and the speed of the tractor 4–6 km / h. The presence on the surface of beads has little effect on the strength of the resistance movement and not lead to an increase traction resistance. Reinforcing filler, providing increasing wear resistance will reduce the amount of wear to the marginal status and, thereby, increase the time between one detail.

**Keywords:** abrasive particles, light soil, reinforced surface wear, limit state, the weld bead.

## **Введение и постановка задач**

В последние годы широкое распространение в качестве упрочняющего метода для увеличения абразивной стойкости рабочих поверхностей деталей почвообрабатывающей техники получил способ, получивший название - наплавочное армирование [1,2,3,4,5]. Как правило, эта технология используется для повышения стойкости к истиранию абразивными частицами наиболее нагруженных, локальных участков изделий [6,7,8], износ которых определяет предельное состояние деталей в целом [9,10]. Хотя подобное упрочнение и получило достаточно широкое внедрение, однако количество работ, дающих теоретическое обоснование процессам происходящим при перемещении частиц почвы по криволинейной поверхности недостаточно [11,12,13], а имеющиеся не объясняют в полной мере факторы повышающие абразивостойкость армированного участка [14,15]. Поэтому в размещенном ниже материале рассматриваются вопросы: движения частицы почвы вдоль сферической поверхности; дальности полета частицы грунта, огибающей сферическую поверхность; взаимодействия рабочего органа с почвой после его наплавочного армирования; влияния армирующих валиков на силу сопротивления перемещению армированной детали; влияние армирующих валиков на величину износа.

(Работа носит теоретический характер и поэтому ее структура не совпадает со структурой экспериментальных изысканий с точки зрения дифференцирования материалов).

### **Движение частицы почвы вдоль сферической поверхности**

При движении сыпучих сред вдоль неровных поверхностей возникает вопрос о характере перемещения частиц этих сред при огибании ими неровностей поверхности. В частности, при использовании технологии упрочнения поверхности рабочего органа навариваемыми на нее валиками необходимо исследовать процесс огибания неровностей рабочей области (валиков) частицами контактирующей с ними почвы (рисунок 1).

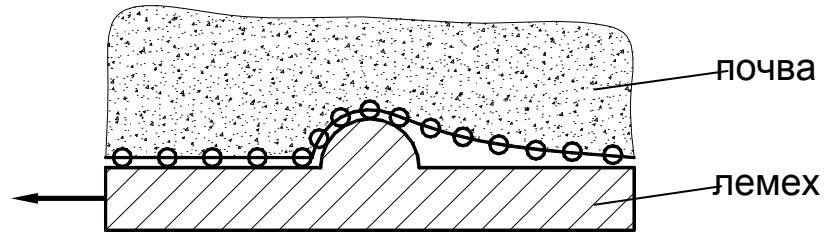


Рисунок 1 – Схема движения частиц по периметру валика

В связи с этим рассмотрим следующую модельную задачу такого рода.

Материальная точка массой  $m$  скатывается с окружности радиусом  $R$ , имея в верхней точке некоторую горизонтальную скорость  $v_0$ . Требуется найти угол  $\varphi_*$ , при котором точка оторвется от окружности, а также скорость точки  $v_*$  в момент отрыва (рисунок 2). Предполагается наличие трения между точкой и поверхностью окружности с коэффициентом трения  $f$ .

Для углов  $\varphi$  ( $0 \leq \varphi \leq \varphi_*$ ), при которых точка находится на окружности, нормальная составляющая  $F_n = mg \cos \varphi$  веса  $G = mg$  движущейся точки должна быть не меньше центростремительной силы  $\frac{mv^2}{R}$ , удерживающей точку на окружности радиуса  $R$ :

$$mg \cos \varphi \geq \frac{mv^2}{R} \Leftrightarrow v^2 \leq gR \cos \varphi \quad (0 \leq \varphi \leq \varphi_*). \quad (1)$$

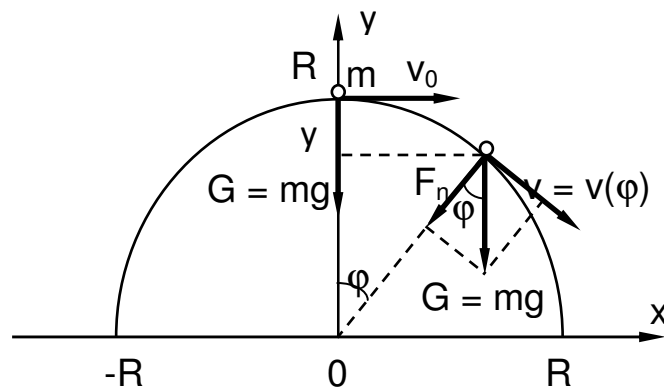


Рисунок 2 – Схема модели перемещения частицы по валику

При предельном угле  $\varphi = \varphi_*$  это неравенство превращается в равенство:

$$v_*^2 = gR \cos \varphi. \quad (2)$$

Найдем зависимость скорости  $v$  движущейся точки от угла  $\varphi$ . Для этого используем закон сохранения энергии: разность кинетических энергий движущейся точки равна работе, которую совершит вес  $G = mg$  этой точки и сила трения  $F_{\text{ТР}}$  точки об окружность:

$$\frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} = A - A_{\text{ТР}}. \quad (3)$$

Сначала найдем работу  $A$  веса  $G = m \cdot g$ . Она очевидна:

$$A = G (R - y) = mg (R - R \cos \varphi) = mgR (1 - \cos \varphi). \quad (4)$$

А теперь найдем работу  $A_{\text{ТР}}$  силы трения  $F_{\text{ТР}}$ . Учтем, что  $F_{\text{ТР}} = f \cdot N$ , где

$$N = F_n - F_{\text{ц}} = mg \cos \varphi - \frac{mv^2}{R} \quad (5)$$

– сила давления точки на окружность. Тогда

$$dA_{\text{ТР}} = F_{\text{ТР}} \cdot ds = f \cdot N \cdot R d\varphi = f \cdot m (gR \cos \varphi - v^2) d\varphi. \quad (6)$$

– элемент работы силы трения на дуге окружности  $ds = R d\varphi$ . А вся работа  $A_{\text{ТР}}$ , которую совершит сила трения при повороте точки на угол  $\varphi$ , найдется интегрированием выражения (6):

$$A_{\text{тр}} = fm \int_0^{\varphi} (gR \cos \alpha - v^2(\alpha)) d\alpha \quad (7)$$

С учетом выражений (4) и (7) уравнение энергетического баланса (3) примет вид

$$\frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} = mgR(1 - \cos \varphi) - fm \int_0^{\varphi} (gR \cos \alpha - v^2(\alpha)) d\alpha. \quad (8)$$

Сократив обе части этого равенства на  $m$  и затем, продифференцировав по  $\varphi$  обе его части, получим:

$$\frac{1}{2}(v^2)' = gR \sin \varphi - f(gR \cos \varphi - v^2). \quad (9)$$

Или

$$(v^2)' - 2fv^2 = 2gR(\sin \varphi - f \cos \varphi). \quad (10)$$

Мы получили линейное неоднородное дифференциальное уравнение первого порядка относительно функции  $v^2 = v^2(\varphi)$ .

Согласно теории таких уравнений, его общее решение, содержащее в себе все частные решения, может быть найдено по формуле:

$$v^2 = Cy_0(\varphi) + 2gR \cdot y_*(\varphi). \quad (11)$$

Здесь  $Cy_0(\varphi)$  – общее решение линейного однородного уравнения  $y' - 2fy = 0$ , а  $y_*(\varphi)$  – какое-либо частное решение линейного неоднородного уравнения  $y' - 2fy = \sin \varphi - f \cos \varphi$ .

Сначала найдем  $Cy_0(\varphi)$ :

$$y' - 2fy = 0; \quad \frac{dy}{d\varphi} = 2fy; \quad \frac{dy}{y} = 2fd\varphi; \quad \int \frac{dy}{y} = 2f \int d\varphi; \quad \ln|y| = 2f\varphi + C;$$

$$|y| = e^{C+2f\varphi} = e^C \cdot e^{2f\varphi}; \quad y = \pm e^C \cdot e^{2f\varphi} = |\pm e^C = C| = C \cdot e^{2f\varphi}.$$

Итак,

$$y = C \cdot y_0(\varphi) = Ce^{2f\varphi}. \quad (12)$$

А теперь найдем (подберем) какое-либо частное решение  $y_*(\varphi)$  уравнения  $y' - 2fy = \sin\varphi - f \cos\varphi$ . Его будем искать в виде:

$$y = y_* = A \cos\varphi + B \sin\varphi, \quad (13)$$

где  $A$  и  $B$  – некоторые числовые коэффициенты.

Учитывая, что  $y' = -A \sin\varphi + B \cos\varphi$  и подставляя  $y$  и  $y'$  в уравнение

$$y' - 2fy = \sin\varphi - f \cos\varphi, \text{ получим:}$$

$$-A \sin\varphi + B \cos\varphi - 2f(A \cos\varphi + B \sin\varphi) = \sin\varphi - f \cos\varphi.$$

$$\text{Или} \quad -(A + 2fB) \sin\varphi + (B - 2fA) \cos\varphi = \sin\varphi - f \cos\varphi.$$

Приравнявая коэффициенты при  $\sin\varphi$  и  $\cos\varphi$  в обеих частях уравнения, получим систему двух уравнений с двумя неизвестными  $A$  и  $B$ :

$$\begin{cases} -A - 2fB = 1; \\ B - 2fA = -f. \end{cases} \quad (14)$$

Решая ее, получаем:

$$A = \frac{1 - 2f^2}{4f^2 + 1}; \quad B = -\frac{3f}{4f^2 + 1}. \quad (15)$$

А, значит, согласно (13),

$$y_*(\varphi) = -\frac{1}{4f^2 + 1} [(1 - 2f^2)\cos\varphi + 3f\sin\varphi]. \quad (16)$$

А тогда, с учетом (12), и согласно (11), получаем выражение для  $v^2$ :

$$v^2 = Ce^{2f\varphi} - \frac{2gR}{4f^2 + 1} [(1 - 2f^2)\cos\varphi + 3f\sin\varphi]. \quad (17)$$

Здесь  $C$  – неопределенная константа интегрирования. Для ее определения используем начальное условие  $v^2(\varphi = 0) = v_0^2$ :

$$v_0^2 = C - \frac{2gR(1 - 2f^2)}{4f^2 + 1}, \text{ откуда } C = v_0^2 + \frac{2gR(1 - 2f^2)}{4f^2 + 1} \quad (18)$$

Подставляя найденное значение  $C$  в (17), получим искомую зависимость  $v^2 = v^2(\varphi)$ :

$$v^2 = v_0^2 e^{2f\varphi} + \frac{2gR}{4f^2 + 1} [(1 - 2f^2)(e^{2f\varphi} - \cos\varphi) - 3f\sin\varphi]. \quad (19)$$

Или, что одно и то же,

$$v^2 = gR \cdot F(f; \lambda; \varphi). \quad (20)$$

Здесь

$$\lambda = \frac{v_0^2}{gR} \quad (0 < \lambda \leq 1) \quad (21)$$

– безразмерный параметр, а

$$F(f; \lambda; \varphi) = \lambda e^{2f\varphi} + \frac{2}{4f^2 + 1} [(1 - 2f^2)(e^{2f\varphi} - \cos\varphi) - 3f\sin\varphi] \quad (22)$$

– безразмерная функция.

Теперь, после получения формулы (20), можем вернуться к



поставленному в начале задачи вопросу об определении критического угла  $\varphi_*$ , при котором точка оторвется от окружности, и о скорости точки  $v_*$  в момент отрыва. Для этого с помощью выражения (20) реализуем условие (1) движения точки по окружности и условие (2) ее отрыва:

$$0 < f(f; \lambda; \varphi) \leq \cos\varphi \quad (0 \leq \varphi \leq \varphi_*) \quad (23)$$

$$F(f; \lambda; \varphi_*) = \cos\varphi_* \quad (24)$$

Таким образом, чтобы найти угол  $\varphi_*$ , нужно на одном чертеже с осью абсцисс  $\varphi$  построить графики функций  $y = F(f; \lambda; \varphi)$  и  $y = \cos\varphi$  и найти точку их пересечения. Она и определит искомые значения  $\varphi_*$  и  $F(f; \lambda; \varphi_*)$ , а, значит, и  $v_*^2 = gR \cdot F(f; \lambda; \varphi_*)$ .

В таблице 1 приведены полученные таким путем конкретные числовые результаты. В ней для ряда значений  $\lambda$  и  $f$  представлены соответствующие значения  $\varphi_*$  (над диагональю клетки) в радианах и значения  $F(f; \lambda; \varphi_*)$  (под диагональю клетки).

Таблица 1

$f \backslash \lambda$	0	0,1	0,5	0,9	1
0	0,84 0,67	0,80 0,71	0,59 0,84	0,26 0,97	0 1
0,1		0,84 0,67	0,61 0,82	0,27 0,96	0 1
0,2			0,90 0,80	0,27 0,96	0 1
0,3				0,67 0,96	0 1

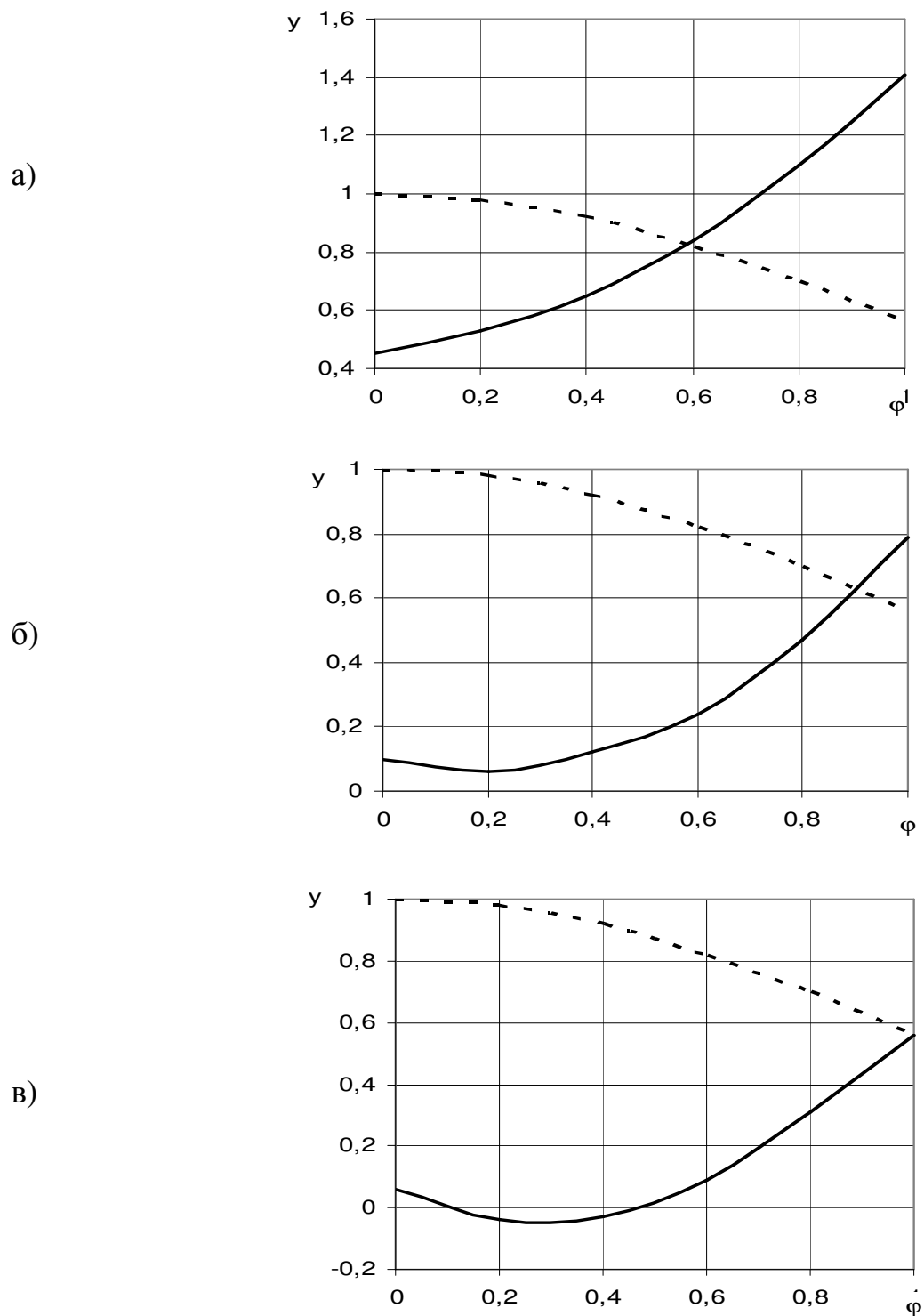


Рисунок 3 – К задаче о скольжении материальной точки по окружности: - - -  $y = \cos\varphi$ ; —  $y = F(f; \lambda; \varphi)$ . а)  $\lambda = 0,5$ ;  $f = 0$ ;  $\varphi = 0; 0,01\dots 1$ ; б)  $\lambda = 0,1$ ;  $f = 0,2$ ;  $\varphi = 0; 0,01\dots 1$ ; в)  $\lambda = 0,05$ ;  $f = 0,3$ ;  $\varphi = 0; 0,01\dots 1$

Заштрихованные (без данных) клетки таблицы соответствуют тем случаям, когда точка осталась на окружности, не покинув ее. В частности, это три клетки в первом столбце таблицы при  $\lambda = 0$  (то есть при начальной скорости точки  $v_0 = 0$ ) и при наличии трения ( $f \neq 0$ ). Точка, будучи неподвижной в верхней точке окружности, там и останется. А заштрихованная клетка при  $\lambda = 0,1$  и  $f = 0,3$ , соответствующая малой начальной скорости  $v_0$  и большому трению, соответствует случаю, когда медленно движущаяся точка остановится из-за трения на окружности, так и не соскользнув с нее. Наконец, последний столбец таблицы показывает, что при  $\lambda = 1$ , то есть при  $v_0^2 = gR$ ) точка сразу (при  $\varphi = 0$ ) покинет окружность. И это произойдет независимо от того, имеется трение между точкой и поверхностью окружности или оно отсутствует.

В заключение приведем несколько рисунков (рисунки 3 а, б, в), иллюстрирующих численную реализацию равенства (24). для некоторых значений  $\lambda$  и  $f$ .

### **Теоретическое определение дальности полета частицы грунта, огибающей валик**

Согласно, полученному выше, при  $\varphi = 0$  и  $v_0^2 \geq g \cdot R$ , то есть если  $v_0 \geq \sqrt{gR}$ , частица  $m$  сразу оторвется от окружности (от валика) в его верхней точке и начнет свободный полет (рисунок 4). Так как  $R \approx 5 \text{ мм} = 0,005 \text{ м}$  – радиус валика, а  $g \approx 10 \text{ м/с}^2$ , то условие  $v_0 \geq \sqrt{gR}$  будет выполняться при скоростях частиц

$$v_0 \geq \sqrt{10 \cdot 0,005} \approx 0,22 \text{ (м/с)} \approx 0,8 \text{ (км/ч)}.$$

Так как скорость  $v_0$  – это скорость движения трактора, а его скорость заведомо больше 0,8 км/ч, то частицы почвы, не огибая валика, срываются с него в его верхней точке и начинают свободный полет. Этот полет

совершается по параболе, параметрическое уравнение которой очевидно:

$$\begin{cases} x = v_0 t \\ y = R - \frac{gt^2}{2} \end{cases} \quad (t \geq 0 - \text{время}). \quad (25)$$

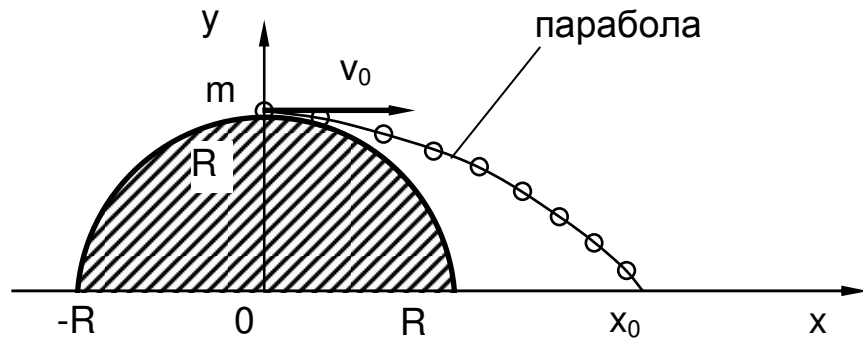


Рисунок 4 – К задаче о дальности полета частицы почвы

Если исключить время  $t$ , получим явное уравнение этой параболы

$$y = R - \frac{gx^2}{2v_0^2}. \quad (26)$$

Положив в этом уравнении  $y = 0$ , найдем  $x = x_0$  – дальность полета частицы:

$$x_0 = \sqrt{\frac{2R}{g}} \cdot v_0. \quad (27)$$

Например, если  $v_0 = 5 \text{ км/ч} \approx 1,38 \text{ м/с}$ , то

$$x_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,005}{10}} \cdot 1,38 \approx 0,044 \text{ м}.$$

Согласно (27) определим влияние скорости движения и размеров наплавленных валиков на дальность полета частицы, пройденный частицей при различных скоростях движения трактора (рисунок 5).

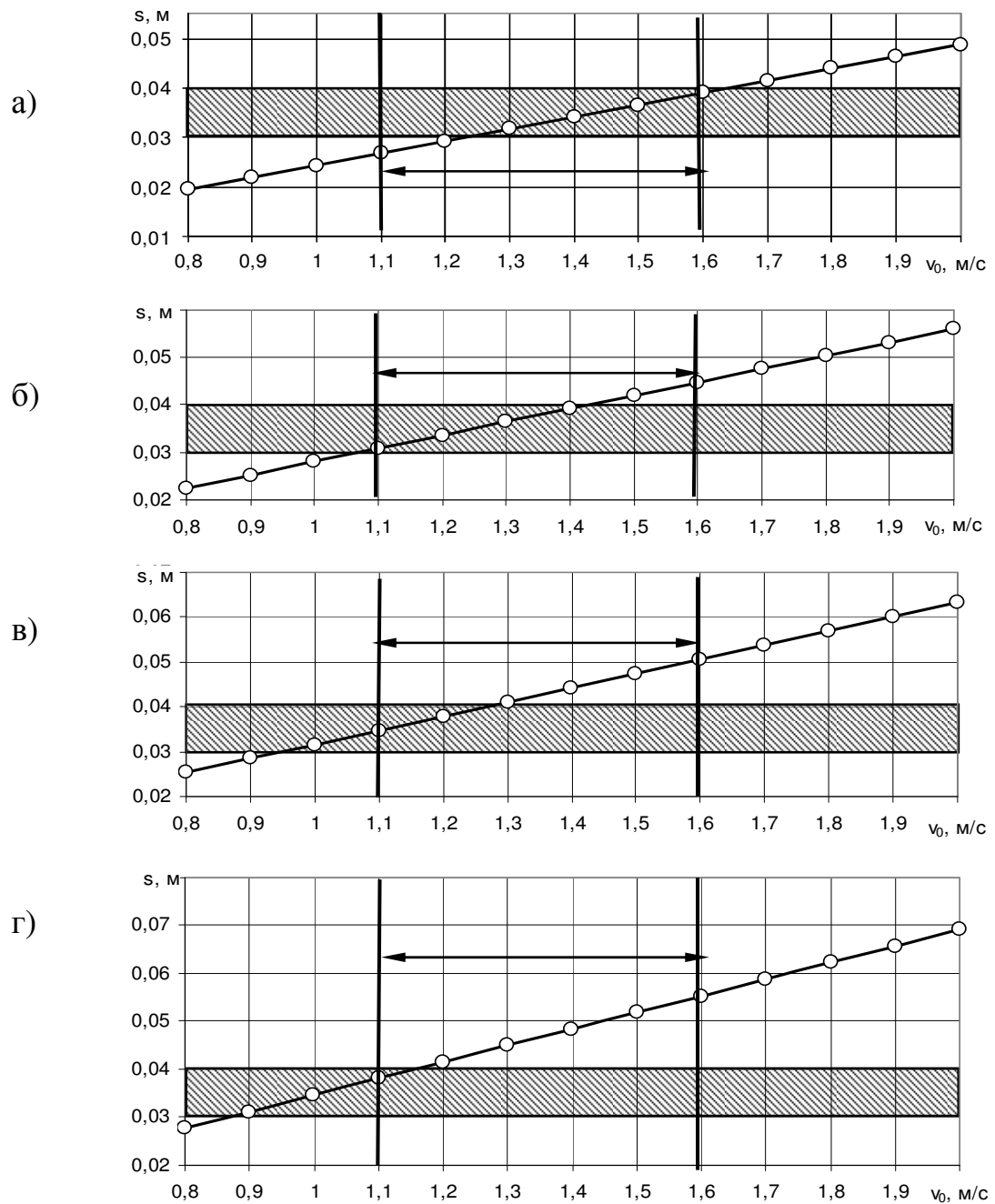


Рисунок 5 – Влияние скорости движения трактора ( $v_0$ ) на путь ( $S$ ), пройденный абразивной частицей при различной высоте наплавленных валиков  $h$ : а)  $h = 0,003$  м; б)  $h = 0,004$  м; в)  $h = 0,005$  м; г)  $h = 0,006$  м (заштрихованная область – ширина между валиками; стрелками указан диапазон рабочих скоростей)

Во всех рассматриваемых случаях при увеличении скорости движения путь, пройденной частицей, возрастает с увеличением  $v_0$ . В тоже время для стандартных культурных корпусов пределом скорости движения считается 7 км/ч (1,94 м/с) [16], а оптимальным – диапазон скоростей 4...6 км/ч (1,08...1,62 м/с). То есть для оценки влияния армирующих валиков на  $v_0$  можно ограничиться именно этим диапазоном (обозначен стрелками на рисунке 5).

При сварочном армировании области, примыкающей к полевому обрезу, возможно применение электродов различных диаметров 3; 4, 5 и 6 мм, которые позволят получить радиус наплавленных валиков  $R$ , или что одно и тоже их высоту  $h$ , соответственно равную 0,003; 0,004; 0,005; 0,006 м. Расстояние между валиками, согласно размерам зон термического влияния, составляет 0,3...0,4 м. То есть, лучшей следует считать ту скорость движения, которая обеспечит путь движения частицы в пределах 0,3...0,4 м (заштрихованная область на рисунке 6).

С точки зрения достижения максимального эффекта повышения износостойкости, при сварочном армировании области наиболее вероятного износа носка лемеха, целесообразно чтобы абразивная частица перелетала с валика на валик, совершая путь 0,3...0,4 м, не попадая в пространство между ними.

Вместе с тем, при увеличении  $h$ , минимальные скорости, при которых  $S > 0,3$  м уменьшаются. То есть условие  $S = 0,3...0,4$  м, наиболее полно может быть реализовано при нормированных скоростях движения трактора при вспашке, если высота валиков будет 0,003 и 0,004 м (рисунок 5, а, б). При использовании электродов большего диаметра велика вероятность увеличения пути движения частиц, которые, двигаясь по параболе, могут попасть в пространство между наплавленными валиками, что может ускорить процесс изнашивания упрочненной области.

Оптимальный диапазон скоростей (минимальные и максимальные

значения) при которых абразивная частица будет перелетать с валика на валик, не попадая в пространство между ними представлен на рисунке 6.

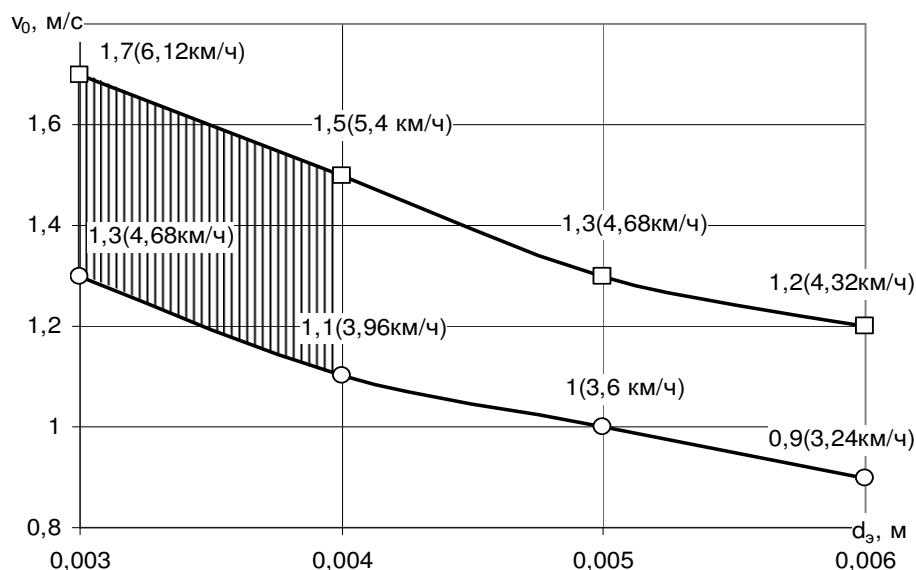


Рисунок 6 – Диапазон скоростей (заштрихованная область), обеспечивающий путь абразивной частицы  $s = 30...40$  мм в зависимости от диаметра электрода ( $d_{э}$ ):  $\circ$  – минимальные значения;  $\square$  – максимальные значения скорости  $v_0$

Таким образом, при сварочном армировании области, примыкающей к полевому обрезу, целесообразно использовать электроды диаметром 3 и 4 мм, обеспечивающие высоту валика 0,003 и 0,004 м, позволяющую при установленной скорости движения пахотного агрегата 4...6 км/ч, обеспечить оптимальный путь движения абразивной частицы 0,3...0,4 м.

### **Взаимодействие рабочей поверхности детали после наплавки на нее армирующих валиков**

Рассмотрим сначала взаимодействие лемеха с почвой, когда поверхность лемеха гладкая (рисунок 7).

Тогда при равномерном движении лемеха сила трения  $F_{тр}$ , которая возникает при движении лемеха, равна

$$F_{тр} = f \cdot p \cdot S, \quad (28)$$

где  $f$  – коэффициент трения.

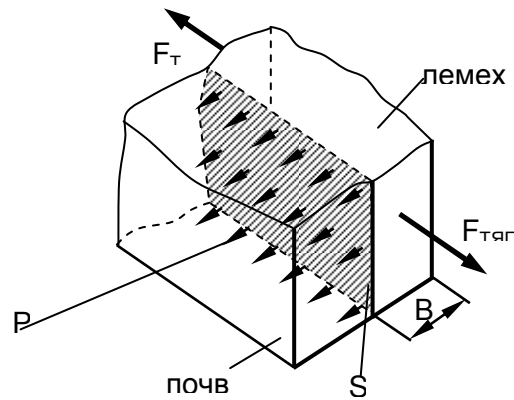


Рисунок 7 – Взаимодействие лемеха с почвой при гладкой поверхности лемеха:  $p$  – давление лемеха на почву;  $S$  – площадь рабочей поверхности лемеха;  $B$  – ширина лемеха

А теперь рассмотрим тот же лемех, на рабочую поверхность которого поперек направления его движения наварены некоторые полоски (валики) высотой  $h$  (рисунок 8).

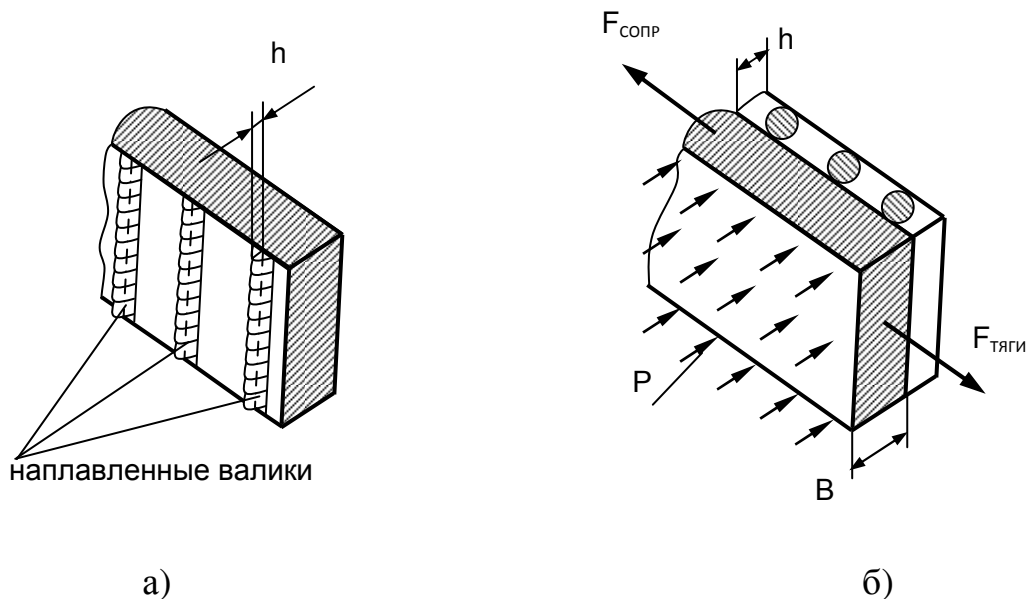


Рисунок 8 – Поверхность лемеха: а – рабочая поверхность; б – вид с тыльной стороны;  $h$  – высота наплавленного валика



При движении лемеха, изображенного на рисунке 8, сила сопротивления движению  $F_{\text{сопр}}$  будет больше обычной силы трения  $F_{\text{тр}}$ , соответствующей рисунку 7, и имеющей вид (28). Действительно,

$$F_{\text{сопр}} = F_{\text{тр}} + F_{\text{доп}} = f \cdot p \cdot S + F_{\text{доп}}, \quad (29)$$

где  $F_{\text{доп}}$  – сила необходимая для перемещения лемехом слоя грунта перед собой.

Если  $v$  – скорость движения лемеха, а  $B$  – наибольшая ширина лемеха, то за единицу времени объём  $V$  перемещенного вместе с лемехом грунта будет, очевидно, равен:

$$V = B \cdot v \cdot h, \quad (30)$$

где  $h$  – высота наплавленного валика.

Его масса

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot B \cdot v \cdot h,$$

где  $\rho$  – плотность грунта.

Так как каждая частичка этого грунта, прежде покоившаяся, получила скорость  $v$ , то количество движения, полученное этой массой за единицу времени, равно

$$m \cdot v = \rho \cdot B \cdot v^2 \cdot h. \quad (31)$$

Но, как следует из второго закона Ньютона, изменение количества движения некоторого тела за единицу времени равно приложенной к этому телу силе. Эта сила и есть составляющая  $F_{\text{доп}}$  формулы (29):

$$F_{\text{доп}} = \rho \cdot B \cdot v^2 \cdot h. \quad (32)$$

Итак, формула (29) с учетом (32) примет вид:

$$F_{\text{СОПР}} = f \cdot P \cdot S + \rho \cdot V \cdot v^2 \cdot h. \quad (33)$$

Впрочем, такой бы была эта формула, если бы отсутствовали краевые эффекты у кромок лемеха, эффекты обтекания грунтом наваренных валиков, приведение в движение дополнительных объёмов грунта, не учтённых формулой (30), и т. д. Поэтому во второе слагаемое формулы (33) целесообразно ввести поправочный коэффициент  $\delta$ , учитывающий указанные выше эффекты. Таким образом, получим окончательно:

$$F_{\text{СОПР}} = f \cdot P \cdot S + \rho \cdot V \cdot v^2 \cdot h \cdot \delta. \quad (34)$$

Безразмерный коэффициент  $\delta$  должен быть найден эмпирически.

Формула (32), если добавить к ней указанный выше поправочный коэффициент  $\delta$ , принимает вид:

$$F_{\text{ДОП}} = \rho \cdot V \cdot v^2 \cdot h \cdot \delta. \quad (35)$$

По существу эта формула определяет лобовое сопротивление движению лемеха, которое создают наваренные на него валики. По своей форме оно имеет практически тот же вид, который имеет сила лобового сопротивления движению тела в жидкости

$$F_{\text{ЛОБ}} = \rho \cdot S \cdot v^2 \cdot \delta, \quad (36)$$

где  $\rho$  – плотность жидкости;

$S$  – площадь наибольшего поперечного сечения тела;

$v$  – скорость тела;

$\delta$  – коэффициент, определяемый эмпирически, зависит от формы тела и его положения относительно направления движения.

Исходя из выражений (28) и (36), можно найти отношение:

$$\gamma = \frac{F_{\text{сопр}}}{F_{\text{тр}}} = 1 + \frac{\delta \cdot \rho \cdot B \cdot h \cdot v^2}{f \cdot P \cdot S} \quad (37)$$

Оно определит, в какой мере наваренные на рабочую поверхность лемеха валики увеличивают силу сопротивления движению лемеха, а, следовательно, в какой мере увеличивают силу тяги.

А теперь рассмотрим износ рабочей поверхности лемеха в процессе его движения. Каждая частица грунта (песчинка), двигаясь по поверхности лемеха, создаст на ней след с некоторой глубиной  $w$  ( $w$  – величина износа, совершаемого одной песчинкой на своей траектории) (рисунок 9). А так как сила, прижимающая её к лемеху, пропорциональна давлению  $P$  лемеха на грунт, то пропорциональна  $f \cdot P$  сила трения между песчинкой и лемехом ( $f$  – коэффициент трения), а значит, пропорциональна  $f \cdot P$  и работа этой силы трения, которая как раз и расходуется в основном на совершение износа. Итак, можем считать, что износ  $w$  пропорционален произведению  $f \cdot P$ .

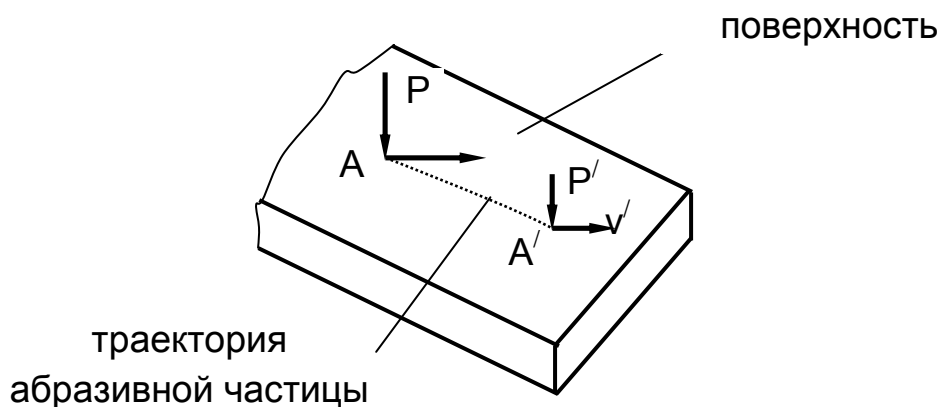


Рисунок 9

Далее, число песчинок, проходящих через каждую фиксированную точку лемеха пропорционально, очевидно, скорости  $v$  движения песчинок (совпадающей со скоростью самого лемеха) и времени  $\tau$ . Соответственно и износ  $w$  пропорционален их количеству, то есть, пропорционален  $v \cdot \tau$ .

Итак, в итоге получаем величину износа лемеха (толщина слоя,

стираемого в процессе износа)  $w$ :

$$w = P \cdot a \cdot v \cdot \tau \cdot f, \quad (38)$$

где  $a$  – коэффициент пропорциональности, определяющий износостойкость материала лемеха при взаимодействии с данным грунтом;

$P$  – давление лемеха на грунт;

$f$  – коэффициент трения;

$v$  – скорость движения лемеха;

$\tau$  – время движения.

Формула (38) справедлива, если рассматривать стационарный случай, когда величины ( $a$ ;  $f$ ;  $P$ ;  $\tau$ ) не меняются со временем. В частности, если металлическая поверхность движется в однородной по структуре и механическим свойствам почве с постоянной скоростью, то, как раз и будет иметь место стационарный случай.

Константу  $a$ , а точнее множитель  $a \cdot f$ , входящий в (38), можно найти опытным путем. Для этого следует провести эксперимент, в котором при некоторой постоянной (рабочей) скорости движения (трактора) в течение некоторого времени  $\tau = \tau_0$  следует испытать изнашиваемую поверхность. А именно, в некоторой выбранной точке  $A$  этой поверхности измерить значения ( $P_A$ ;  $v_A$ ;  $w_A$ ) давления  $P$ , скорости  $v$  и износа  $w$ . Тогда получим

$$w_A = a \cdot f \cdot P_A \cdot v_A \cdot \tau_0,$$

откуда

$$a \cdot f = \frac{w_A}{P_A v_A \tau_0}. \quad (39)$$

Это значение множителя  $a \cdot f$  затем использовать в формуле (38) для нахождения износа  $w$  в других точках изнашиваемой поверхности и при

других режимах ее изнашивания, отличных от экспериментальных.

При нахождении  $a \cdot f$  экспериментальным путем лучше использовать не одну, а несколько различных экспериментальных точек  $A$ , и затем из нескольких полученных выражений (39) для  $a \cdot f$  найти среднее.

Следует помнить, что формула (38) с найденным в (39) выражением  $a \cdot f$  может быть использована лишь для тех же условий, определяющих износостойкость поверхности тела (тех же почв, тех же сортов металла, из которых изготовлено изнашиваемое тело, и т.д.), что и в проведенном эксперименте. Если эти условия меняются, нужно провести новый эксперимент и получить новое значение  $a \cdot f$ .

Если поверхность тела имеет существенные искривления, то для различных ее точек будут существенно различными значения давления  $P$  почвы на поверхность и значения скорости  $v$  частиц почвы в точках этой поверхности. Поэтому существенно различным может быть и износ  $w$  в различных точках этой поверхности.

Формула (38) позволяет качественно проанализировать характер износа рабочей поверхности лемеха с наваренными на неё валиками. Для этого рассмотрим рисунок 10.

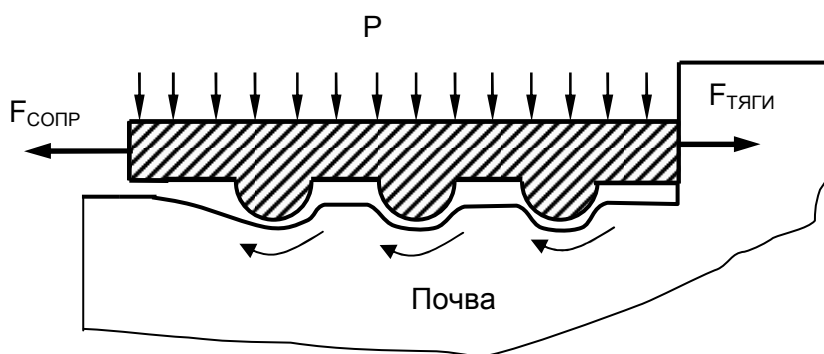


Рисунок 10 – Взаимодействие лемеха с почвой при лемехе, упрочненном сварочным армированием

Линия, огибающая валики, представляет собой траекторию песчинок, непосредственно примыкающих к лемеху. Очевидно, что валики

существенно гасят скорость  $v$  песчинок, примыкающих к лемеху, практически во всех точках контура рабочей поверхности лемеха. В частности этого следует ожидать в промежутках между валиками, где почва застаивается. А при малой скорости  $v$  будет, согласно (38), мал износ в этих промежутках. Там и давление  $P$  следует ожидать не большим. Давление  $P$  между почвой и рабочей поверхностью лемеха будет сильно неоднородным.

Очевидно, оно будет максимальным на передней кромке валиков (особенно первого из них). Но зато на передней кромки валиков (особенно если их сделать виде вертикальных стенок, перпендикулярных направлению движения) будет задерживаться почва, то есть её скорость  $v$  там будет не значительной, а значит, согласно (38), там будет и не слишком значительный износ. Следует ожидать незначительного износа и в других точках лемеха (на задних кромках валиков, где будет практически нулевым давление  $P$ , в промежутках между валиками, о чем уже говорилось и т. д.). А это значит, что при наличии валиков поверхность лемеха будет сохраняться лучше. И если этот полезный эффект сохранения поверхности лемеха будет превосходить вредный эффект увеличения сопротивления движению лемеха, определяемый формулой (34), то нанесение таких валиков на лемех оправдано.

### **Влияние валиков на силу сопротивления перемещению армированной детали**

Известно [16], что давления, которые воздействуют на рабочую поверхность лемеха при пахоте, распределены неравномерно и их максимальные значения наблюдаются непосредственно на носке. Причем наибольшее значение давления наблюдается в нижней части носка, по мере же приближения к верхней стыковочной плоскости давление пласта на лемех уменьшается. Поэтому рассматривать площадь лучевидного износа следует как несколько элементарных площадок. В соответствии с чем, в области лучевидного износа была сделаны 4 среза: на высоте  $l = 35; 60; 80$  и  $100$  мм от верхней стыковочной плоскости, разбившие носок лемеха на площадки

(параллелограммы и треугольник), которые рассматривались в качестве элементарных, воспринимающих действие абразивной среды (почва).

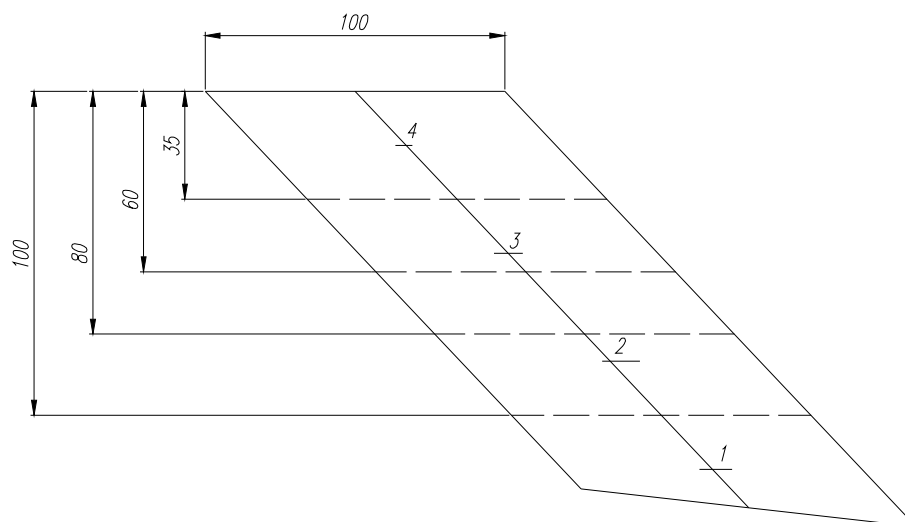


Рисунок 11 – Схема разбивки области лучевидного износа (точками отмечены места замера давлений по [17])

Для нахождения силы сопротивления движению (29) необходимо знать силу трения, которая будет также различной в различных областях лемеха. Для нахождения сил трения, действующих на рассматриваемые площади, были использованы удельные давления в различных точках носка лемеха (точки 1-4 на рисунке 11), полученные [16]. Коэффициент трения, по данным профессора Синеокова Г.И., при пахоте супесчаных почв составляет  $f = 0,5...0,7$ , что и было принято при расчетах. Диапазон скоростей движения  $3...7$  км/ч.

Силы трения, действующие на лемех при отсутствии армирующих валиков, определенные по (28) позволили сделать следующие выводы. Максимальные значения  $F_{тр}$  отмечаются в зоне носка на высоте ниже 100 мм от верхней стыковочной плоскости во всем рассматриваемом диапазоне скоростей (рисунок 12).

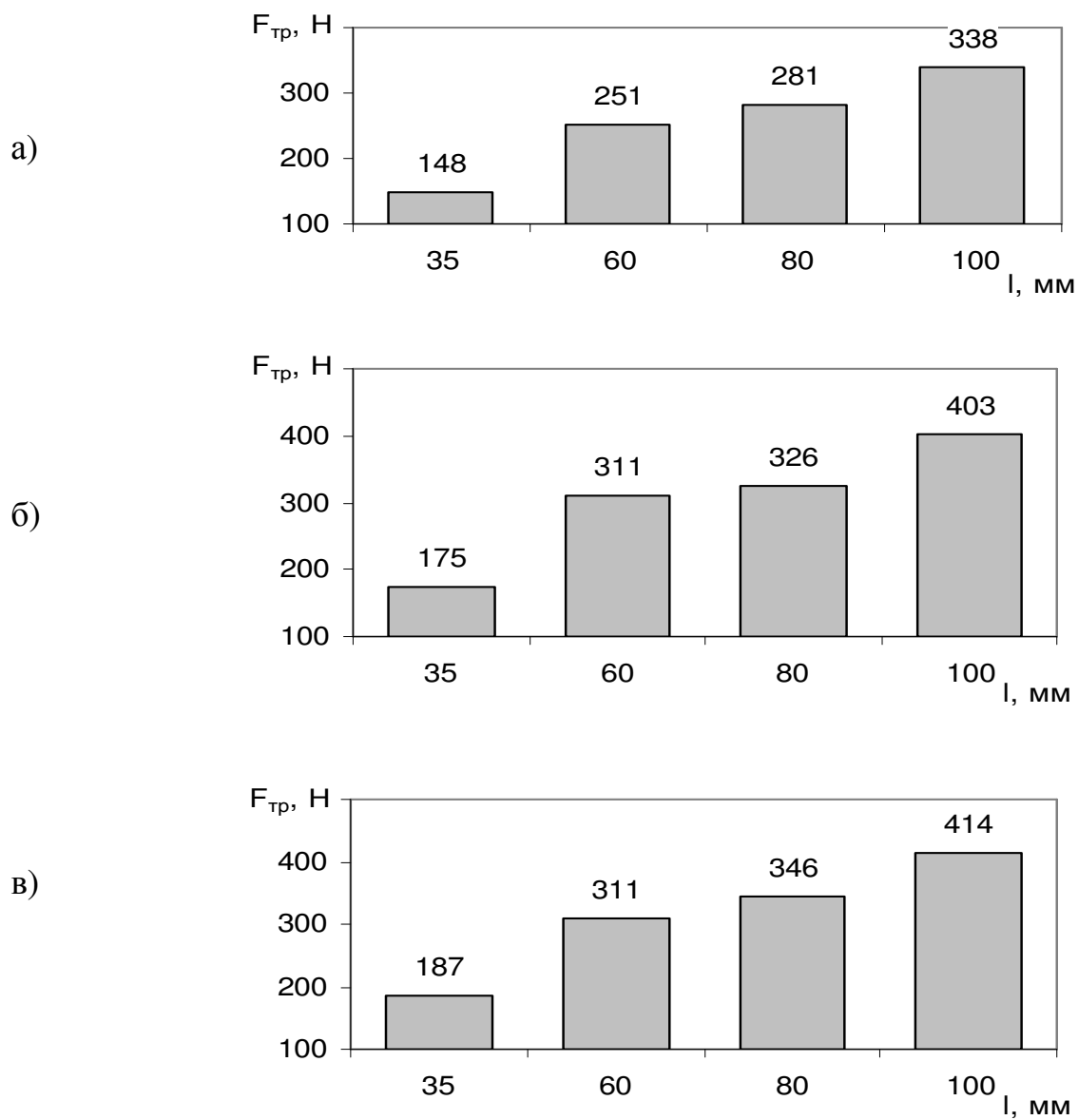


Рисунок 12– Распределение силы трения по высоте носка (l) от верхней стыковочной плоскости при различных скоростях движения: а) 0,995 м/с (3,58 км/ч); в) 1,53 м/с (5,5 км/ч); г) 1,9 м/с (6,8 км/ч)

Силы трения возрастают и с увеличением скорости движения трактора (рисунок 13).



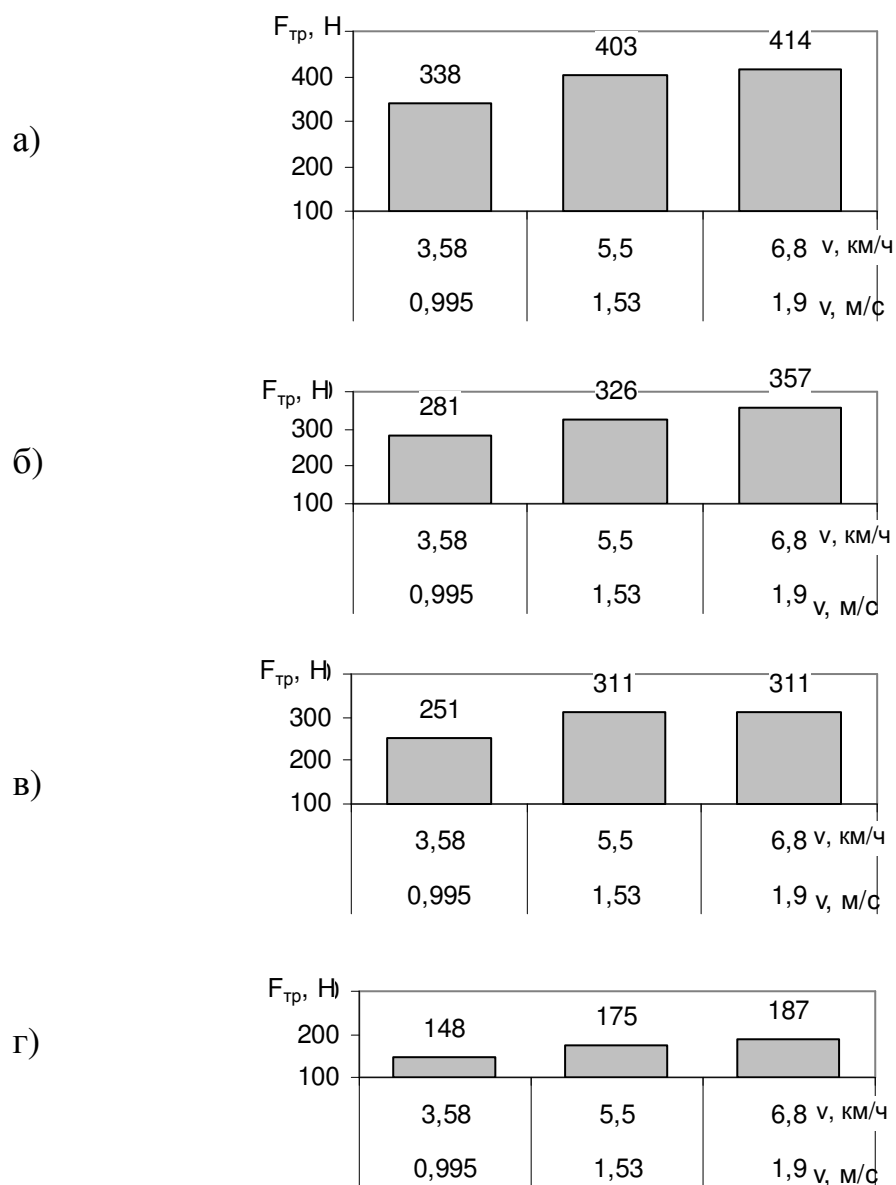


Рисунок 3 – Зависимость силы трения от скорости движения ( $v$ ) в различных сечениях носка лемеха: а) 100 мм; б) 80 мм; в) 60 мм; г) 35 мм

Максимальные значения  $F_{тр}$  наблюдаются на нижней части носка (рисунок 13, а), которая при работе воспринимает наибольшие давления вследствие уплотнения, скалывания и отрыва пласта, что приводит к ее затуплению и скруглению.

В тоже время, анализ геометрии лучевидного износа, проведенный в [2], показал увеличение глубины лучевидного износа (рисунок 14, а), по мере

удаления от острия носка. Повышенный износ вблизи верхней стыковочной плоскости вполне объясним различием твердости лемеха в области острия носка (на высоте 25...40 мм) и на остальной рабочей поверхности. То есть, хотя и силы трения у верхней стыковочной плоскости имеют минимальные значения, величина износа по мере удаления от носка увеличивается.

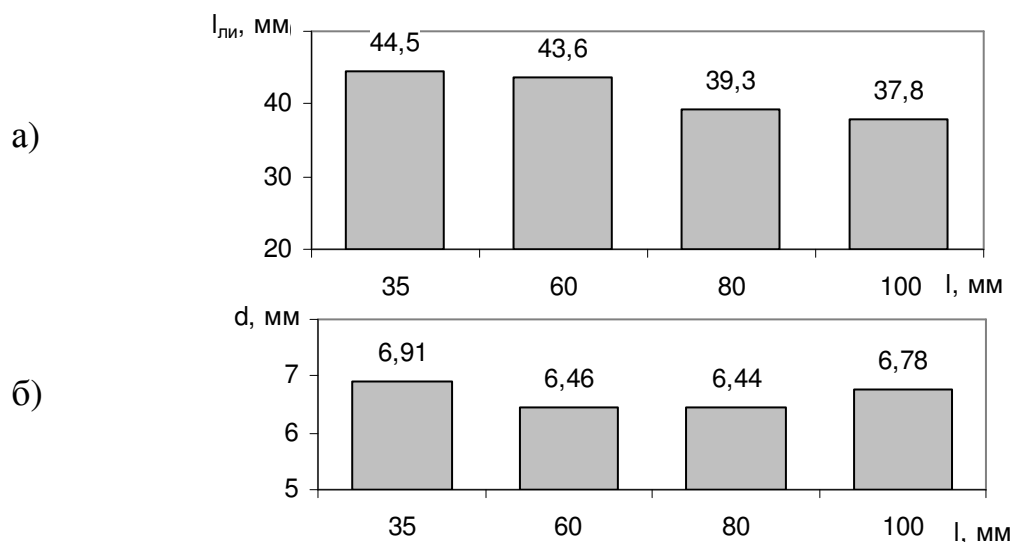


Рисунок 14 – Изменение геометрических параметров лучевидного износа по высоте носка лемеха (l) от верхней стыковочной плоскости: а) ширина (l<sub>ли</sub>); б) глубина (d)

Распределение же глубины лучевидного износа носит несколько отличный характер (рисунок 14, б). На срезе 100 мм (рисунок 11), d также имеет достаточно высокое значение, как и у верхней стыковочной плоскости. Полученное распределение глубины лучевидного износа можно объяснить несоответствием твердости на острие носка лемеха требуемой по техническим условиям на их изготовление, что подтверждается последующими исследованиями.

Упрочнение области лучевидного износа предполагает нанесение валиков высота которых (h) зависит от диаметра электрода (d<sub>э</sub>). Наплавленные валики будут служить своеобразным препятствием, изменяющим траекторию движения абразивных частиц. Однако нанесение

валиков изменит силу сопротивления движению  $F_{\text{сопр}}$  (29). Поэтому в соответствии с (32) были определены дополнительные силы, необходимые для перемещения лемехом слоя грунта перед собой при наличии на поверхности армирующих валиков (рисунок 15).

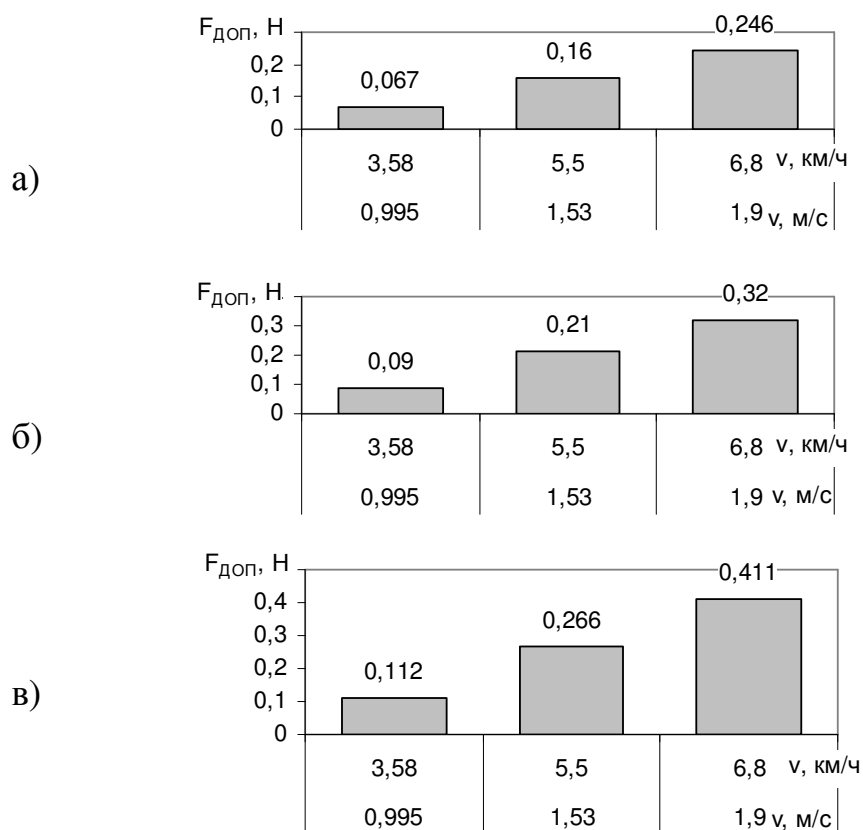


Рисунок 4 – Зависимость силы, необходимой для перемещения лемехом слоя грунта перед собой ( $F_{\text{доп}}$ ) от скорости движения трактора при различной высоте наплавленных валиков: а)  $h = 0,003$  м; б)  $h = 0,004$  м; в)  $h = 0,005$  м

Величины этой силы имеют невысокие значения (на несколько порядков ниже  $F_{\text{тр}}$ ), хотя, как и в случае с силой трения,  $F_{\text{доп}}$  возрастают по мере роста скорости движения трактора. Незначительные значения  $F_{\text{доп}}$ , по сравнению с силой  $F_{\text{тр}}$ , указывают на минимальное влияние армирующих валиков на силу сопротивления движению. То есть при решении данной

задачи дополнительной силой, необходимой для перемещения слоя грунта перед собой и учитывающей наличие наплавленных валиков на поверхности лемеха, можно пренебречь.

Определение силы сопротивления движению показала следующие зависимости (рисунки 15; 16), отмечающие незначительное увеличение  $F_{\text{сопр}}$ , при упрочнении области лучевого износа сварочным армированием с использованием электродного материала различного диаметра.

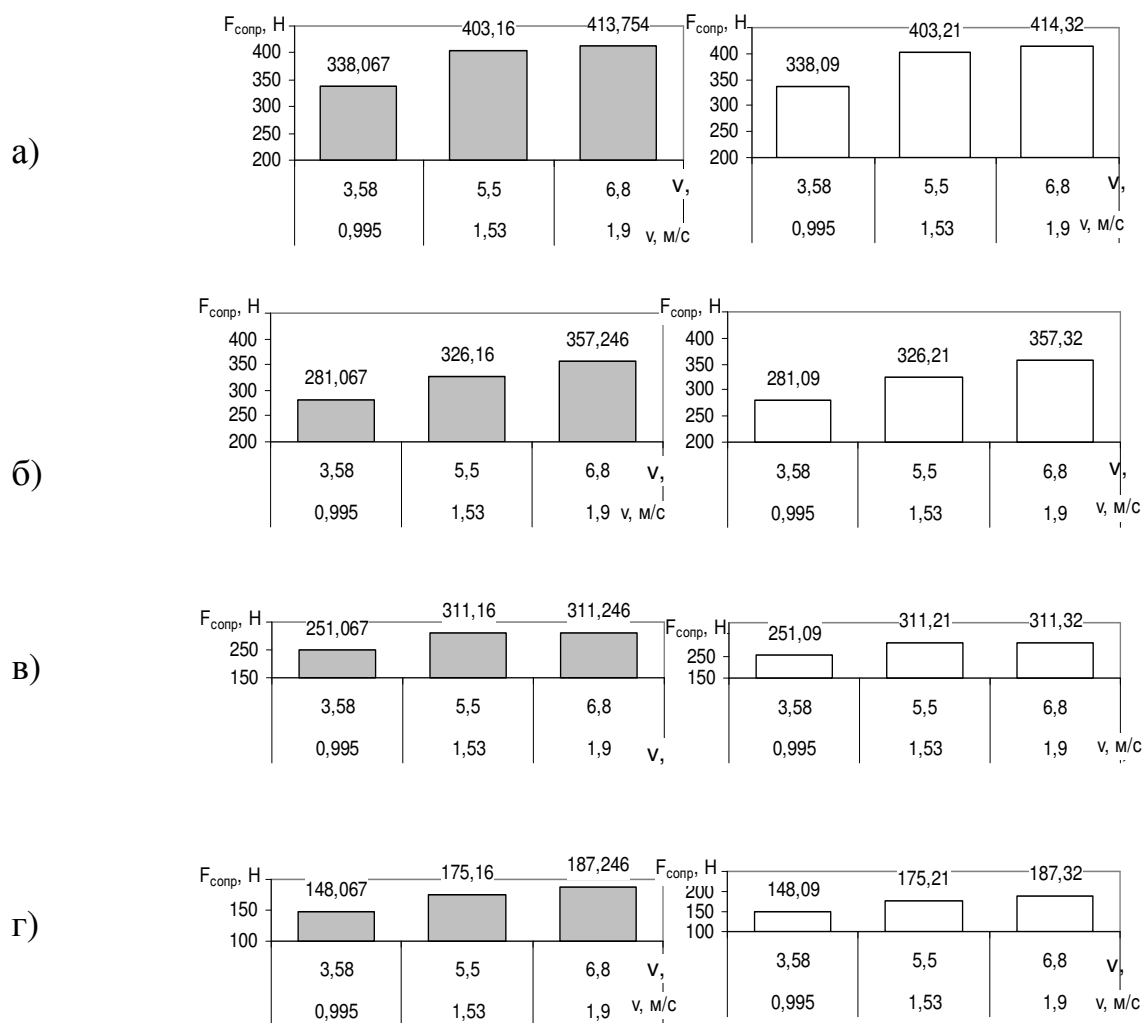


Рисунок 5 – Влияние высоты наплавленных валиков (h) на силу сопротивления движению при различных скоростях движения (v) на высоте от верхней стыковочной плоскости: а) 100 мм; б) 80 мм; в) 65 мм; г) 35 мм.

Таким образом,  $F_{\text{сопр}}$  можно принять равной силе трения, в силу незначительного влияния армирующих валиков на силу сопротивления движению. Известно [18], что сила трения, приходящаяся на лемешно-отвальную поверхность, составляет 30...40 % от всего сопротивления плуга. Незначительное увеличение силы сопротивления при использовании сварочного армирования, которое можно не учитывать, по-видимому, не будет оказывать существенного влияния на повышение тягового сопротивления, что и подтвердилось в результате полевых испытаний.

### **Влияние армирующих валиков на величину износа почвообрабатывающего органа**

Величина износа находится в зависимости от многих факторов, среди которых немаловажное значение имеют свойства поверхности трения, к которым в первую очередь следует отнести твердость. Также на характер износа непосредственное влияние оказывает гранулометрический состав почвы, ее влажность и плотность [19].

В тоже время, при нахождении величины износа согласно (38) необходимо определить  $a$  – коэффициент пропорциональности, определяющий износостойкость материала лемеха при взаимодействии с данным грунтом.

Согласно, принятым выше допущениям рассмотрим стационарный случай  $(f; P; \tau, w) = \text{const}$ . За время, в течение которого произошел износ поверхности в точке А (рисунок 9), будем считать время наработки лемеха до предельного состояния.

Лемеха эксплуатируются на дерново-подзолистых супесчаных почвах, обладающих изнашивающей способностью 120...130 г/га, и теряют работоспособность по причине образования лучевидного износа. Поэтому в качестве параметра, характеризующего износ, образующийся в результате царапающего действия потока абразивных частиц, проходящих в течение

наработки до потери работоспособности через тоску А, в данном случае следует рассматривать глубину лучевидного износа  $d$  (рисунок 14).

Согласно проведенным испытаниям наработка лемехов в состоянии поставки при пахоте на подобных почвах составляет около 8 га. Следовательно за время, в течение которого образуется износ глубиной  $d$ , примем время, необходимое для вспашки одним лемехом 8 га при соответствующей скорости движения.

Коэффициент трения, по данным профессора Синеокова Г.И., при пахоте дерново-подзолистых супесчаных почв составляет  $f = 0,5 \dots 0,7$ .

Зная величины давления в точках лемеха и скорость движения трактора, которая составит 3,58...6,8 км/ч (0,995...1,9 м/с) можно определить коэффициент  $a$ , для точек 1-4 (рисунок 11).

Для этого используем формулу (39), предварительно поделив правую часть равенства на коэффициент трения  $f$ , то есть

$$a = \frac{w_A}{P_A v_A \tau_0 f}, \quad (40)$$

где  $w_A$  – величина износа поверхности лемеха в точке А, м;

$P_A$  – давление лемеха на грунт, Па;

$v_A$  – скорость движения лемеха, м/с;

$\tau_0$  – время движения в течении которого произойдет износ  $w_A$  с;

$f$  – коэффициент трения,  $f = 0,6$ .

Определенный интерес представляет собой характер изменение величины коэффициента, учитывающего износостойкость материала лемеха в конкретных условиях эксплуатации, при применении упрочняющих воздействий сварочным армированием области лучевидного износа. При армировании области лучевидного износа валиками в форме полуэллипса наработка увеличивается до 18 га. То есть при сохранении постоянства всех параметров ( $P_A$ ;  $w_A$ ;  $f$ ) при определенной скорости движения  $v_A$  время, в

течении которого произойдет износ, будет равно времени, в течении которого одним лемехом будет обработано 18 га.

Результаты вычислений представлены в таблице 2

Таблица 2 – Результаты по определению коэффициент  $a$

$\omega_A$ , м	$P_A$ , Па	$V_A$ , м/с	$\tau_0$ , с		$a \cdot 10^{-13}$ , Па <sup>-1</sup>	
			В состоянии и поставки	упрочненные	В состоянии поставки	упрочненные
Точка 1						
0,00678	156500	0,995	80402	180904	9,025	4,011
	187000	1,53	52287	117647	7,553	3,357
	192000	1,9	42105	94736	7,35	3,269
Точка 2						
0,00644	130500	0,995	80402	180904	10,281	4,569
	151000	1,53	52287	117647	8,885	3,948
	160500	1,9	42105	94736	8,359	3,715
Точка 3						
0,00646	116500	0,995	80402	180904	11,552	5,134
	144000	1,53	52287	117647	9,346	4,153
	144000	1,9	42105	94736	9,346	4,153
Точка 4						
0,00691	116500	0,995	80402	180904	22,267	10,075
	144000	1,53	52287	117647	19,194	8,53
	144000	1,9	42105	94736	17,994	7,997

На рисунке 17 представлена графическая интерпретация результатов, приведенных в таблице 2.

С увеличением скорости движения коэффициент  $a$  возрастает, во всем диапазоне рассматриваемых скоростей, принимая наибольшие значения при скорости движения 1,9 м/с (6,8 км/ч) (рисунок 17, в)

Наибольших значений, для всех рассматриваемых случаев, коэффициент  $a$  достигает в точке, находящейся в непосредственной близости к полевому обрезу, что и подтверждается увеличением величины  $d$  по причине невысокой твердости этой зоны.

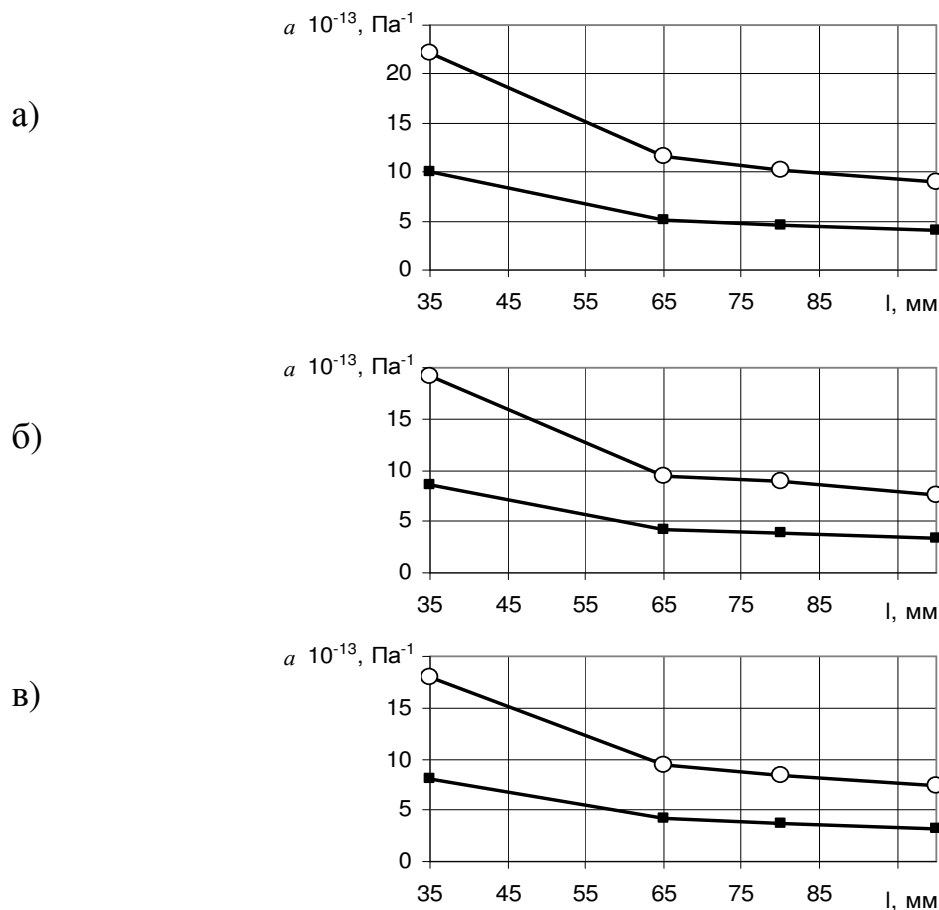


Рисунок 6 – Изменение коэффициента пропорциональности  $a$  по длине носка лемеха при различных скоростях движения: а) 0,995 м/с (3,58 км/ч); б) 1,53 м/с (5,5 км/ч); в) 1,9 м/с (6,8 км/ч). ○ – лемех в состоянии поставки; ■ – упрочненный сварочным армированием области лучевидного износа

Следует отметить, что при упрочнении коэффициент, учитывающий износостойкость материала лемеха, примерно в 2-2,5 раза меньше, чем для лемехов в состоянии поставки. Так как коэффициент  $a$  будет меньше в случае армирования поверхности, то и соответственно можно ожидать меньшего износа упрочненных лемехов по сравнению с лемехами в состоянии поставки за одинаковый период эксплуатации на почвах с одинаковым гранулометрическим составом. Что при прочих равных условиях можно



объяснить повышением износостойкости рассматриваемой области применением упрочняющих технологий.

Таким образом, сварочное армирование, обеспечивающее повышение износостойкости области, примыкающей к полевому обрезу, позволит уменьшить величину износа, определяющую предельное состояние и, тем самым, повысить наработку на один лемех.

### **Выводы**

1 Характер движения точки по окружности при наличии трения ( $f \neq 0$ ) зависит от ее скорости. При начальной скорости  $v_0 = 0$  и она будет неподвижна в верхней точке окружности, оставаясь там. При малой начальной скорости  $v_0$  и большому трению, точка остановится из-за трения на окружности, так и не соскользнув с нее. Наконец, при  $v_0^2 = gR$  точка сразу при  $\varphi = 0$  покинет окружность. И это произойдет независимо от того, имеется трение между точкой и поверхностью окружности или оно отсутствует.

2 Путь, пройденный абразивной частицей зависит от высоты валиков и скорости движения пахотного агрегата. Оптимальный путь движения абразивной частицы составляющий 0,3...0,4 м достигается при высоте валика 0,003 и 0,004 м и скорости движения трактора 4...6 км/ч.

3 Наличие на поверхности наплавленных валиков оказывает незначительное влияние на силу сопротивления движению и, соответственно, не приведет к росту тягового сопротивления.

4 Сварочное армирование, обеспечивающее повышение износостойкости области, примыкающей к полевому обрезу, позволит уменьшить величину износа, определяющую предельное состояние и, тем самым, повысить наработку на один лемех.

### **Литература**

1. Михальченков А.М., Прудников С.Н., Ковалев А.П. Износостойкость отвалов плугов после восстановления и упрочнения наплавочным

армированием // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2011. – №11. – С. 41-45.

2. Михальченков А.М., Кожухова Н.Ю., Будко С.И. О критериях предельного состояния плужных лемехов, эксплуатируемых на почвах юго-западного региона России // Достижение науки и техники в АПК. – 2008. – №1. – С. 43-45.

3. Михальченков А.М., Тюрева А. А., Михальченкова М. А. Новые способы упрочнения плужных лемехов // Тракторы и сельхозмашины. – 2007. – №12. – С. 39-40.

4. Михальченков А. М., Будко С. И., Козарез И. В., Паршиков П. А., Способы армирования лемехов для почв с различной изнашивающей способностью // Тракторы и сельхозмашины. – 2009. – №1. – С. 46-49.

5. Михальченков А.М., Лялякин В.П., Кожухова Н.Ю., Горбачев Р.В. Возобновление ресурса лемехов // Сельский механизатор. – 2013. – № 2. – С. 34-35.

6. Михальченков А.М., Жуков А.А., Михальченкова М.А. Технологические приемы армирования для повышения ресурса плужных лемехов // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2007. – №12. – С.10-11.

7. Козарез И.В., Михальченков А.М. Обзор способов восстановления плужных лемехов // Труды ГОСНИТИ. – 2012. – Т.109. – С. 123-125.

8. Михальченков А.М., Тюрева А.А., Козарез И.В., Михальченкова М.А. Способ повышения износостойкости плужных лемехов // Патент России № 2334384. 2007 Бюл. № 27.

9. Михальченков А.М., Козарез И.В., Михальченкова М.А. Износ цельнометаллических и составных лемехов // Тракторы и сельхозмашины. – 2014. – №7. – С.39-43.

10. Михальченков А.М., Паршикова Л.А., Ковалев А.П., Восстановление лемехов методом приваривания вставок с повышением прочности и износостойкости // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2010. – №12. – С.16-18.

11. Михальченков А.М., Комогорцев В.Ф., Тюрева А.А. Пути повышения износостойкости армированной поверхности лемеха // Тракторы и сельхозмашины. – 2010. – №7. – С. 35-37.
12. Михальченков А.М., Комогорцев В.Ф., Тюрева А.А. Факторы, влияющие на повышения долговечности лемехов при наплавочном армировании // Упрочняющие технологии и покрытия.- 2010. - №3.- С. 39-43.
13. Михальченков А.М., Комогорцев В.Ф., Копощко Д.А. Некоторые теоретические соображения о взаимодействии лемеха с почвой после его сварочного армирования // Конструирование, использование и надежность машин с.-х. назначение. – Брянск, БГСХА, Сб. науч. раб., 2004. – С. 104-109.
14. Михальченков А.М., Феськов С.А., Якушенко Н.А. Восстановление стрелчатых лап // Сельский механизатор. – 2014. – № 3. – С. 36-37.
15. Михальченков А.М., Прудников С.Н., Исаев Х.М.О. Повышение срока службы отвалов // Сельский механизатор. – 2010. – № 11. – С. 31.
16. М.М. Севернев, Г.П. Каплун, В.А. Короткевич и др. Износ деталей сельскохозяйственных машин. – Л.: Колос, 1972. – 288 с.
17. Розенбаум А.Н. Исследование износостойкости сталей для режущих органов почвообрабатывающих машин // труды ВИСХОМ. – М.: ВИСХОМ. – 1969. – Вып. 53. – С. 3-123.
18. Карпенко А.Н., Халанский В.М. Сельскохозяйственные машины : учеб. пособие. – М., Колос. - 1983. – 495 с.
19. Михальченков А.М., Бирюлина Я.Ю., Поджарая К.С., Михальченкова М.А. Совершенствование методики и образец для проведения сравнительных испытаний клееполимерных композитов на абразивное изнашивание // Труды ГОСНИТИ. – 2015. – Т. 119. – С.275-280.

ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАПЛАВОЧНОГО  
АРМИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ  
РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ОРУДИЙ  
ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ТЯЖЕЛЫМ ПОЧВАМ

*к.ф.м.н. Комогорцев В.Ф., к.т.н. Кожухова Н.Ю., соискатель  
Михальченкова М. А. Брянский ГАУ, Россия.*

**Аннотация.** Результаты анализа литературных источников по применению наплавочного армирования, позволили выявить задачи, требующие теоретических исследований. К ним относятся: влияние силовых факторов на перемещение частицы почвы по криволинейной поверхности с учетом ее износа; определение силы сопротивления почвы движению рабочего органа при наличии армированной поверхности; определение эффективности применения технологий упрочнения наплавочным армированием.

Показано, что изнашивание армирующего валика приводит к уменьшению действующей на него силы давления частиц почвы, со стабилизацией при определенной величине износа. Увеличение скорости движения агрегата повышает давление почвы в области стыка валика с рабочей поверхностью и последующей его стабилизацией. Рост износа валиков обеспечивает падение и стабилизацию результирующей силы давления частицы, а, следовательно, уменьшение тягового усилия. Расход топлива у армированных деталей выше, чем у неармированных в начальный период их использования с последующим его выравниванием при определенной наработке. Установлено, что при расчетах необходимость учета рельефа рабочей поверхности контакта детали с почвенной средой через коэффициент трения. Получены зависимости, учитывающие

повышенный расход топлива в период приработки армированной поверхности детали. Оценку эффективности технологий следует проводить по процентному уменьшению общих затрат.

**Ключевые слова:** наплавочное армирование, износ, износостойкость, рабочие органы, почвообрабатывающие орудия, тяжелые почвы, силовые факторы, расход топлива, эффективность.

## RATIONALE FOR USE REINFORCEMENT FILLER TO INCREASE WEAR PARTS WORKING BODIES TILLAGE APPLIED TO HEAVY SOILS

*Candidate of physical and mathematical sciences Komogortsev V.F.,*

*candidate of technical sciences Kozhukhova N.Y.,*

*graduate student Mihalchenkova M.A.*

*Bryansk State Agrarian University, Russia.*

**Annotation.** The results of the analysis of the literature on the use of filler reinforcement, revealed problems requiring theoretical research. These include: the effect of power factor on the movement of soil particles by the curved surface taking into account its wear; determination of soil resistance force movement of the working body in the presence of reinforced surface; determine the effectiveness of the application of technology of hardening filler reinforcement.

It is shown that the wear reinforcement roller reduces the force acting on it is the pressure of the soil particles, with stabilization at a specific wear. Increasing machine speed increases the pressure in the soil interface platen working surface and its subsequent stabilization. Height wear rollers provides drop and stabilizing the resultant pressure forces the particles, and hence reduction of traction. The fuel consumption of reinforced parts is higher than that of unreinforced in the initial period of their use with subsequent equalization at a certain operating time. It was established that the calculations need to take account of the relief work surface contact details with soil environment through friction. The dependencies that take

into account an increased fuel consumption during running-reinforced component surface. Evaluate the effectiveness of technology should be a reduction in the percentage of total costs.

**Keywords:** filler reinforcement, wear, abrasion and working bodies, tillage, heavy soils, power factors, fuel consumption efficiency.

### **Введение и постановка задач**

Как известно, наплавленное армирование позволяет существенно увеличить стойкость к абразивному изнашиванию локально упрочненных, наиболее изнашиваемых участков деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин [1,2,3,4]. Известны также теоретические изыскания в области данного технологического процесса [5,6,7]. Однако, эти работы посвящены определению оптимальных параметров геометрии армированной поверхности. При этом за рамками исследований остались вопросы: силового взаимодействия почвенной среды и рабочей поверхности; влияние наплавленных валиков на изменение сопротивления почвы при перемещении изделия. Немаловажным неизученным моментом является эффективность технологических приемов наплавки. Отмеченные вопросы, прежде всего, следует решать в отношении тяжелых (суглинистых) почв, т.к. предшествующие разработки, как правило, имеют отношение к сыпучим материалам – легким супесчаным почвам [8,9].

Поэтому к задачам исследований нужно отнести: влияние силовых факторов на перемещение частицы почвы по выпуклой криволинейной поверхности с учетом ее износа; определение силы сопротивления почвы движению рабочего органа при наличии армированной рабочей поверхности; определение экономической эффективности применения технологических приемов упрочнения наплавленным армированием.

## **Влияние силовых факторов на перемещение частицы почвы по выпуклой криволинейной поверхности с учетом ее износа**

Наплавка армирующих валиков при упрочнении деталей существенным образом меняет профиль поверхности контакта с почвой [7], внося коррективы в поведение силовых факторов, действующих на деталь при ее перемещении. Профиль перестает быть плоским, поэтому следует ожидать повышения результирующей силы сопротивления движению рабочего органа, особенно при вспашке тяжелых почв. Для определения увеличения этой силы необходимо проанализировать движение частиц почвы, огибающей валик. Причем проанализировать в условиях изменения геометрии валиков, так как они в процессе пахоты изнашиваются. А именно: необходимо рассмотреть вопрос определения силы сопротивления перемещению частицы почвы по поверхности армирующего валика с учетом его изнашивания и ее скорости движения.

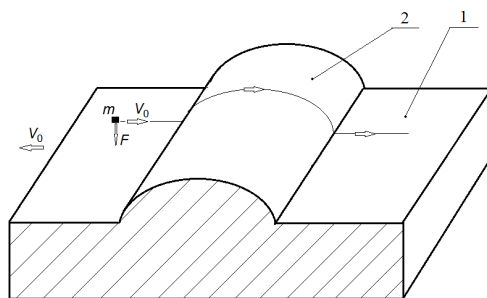
При аналитическом решении данной задачи принимаются следующие допущения:

- поверхность валика имеет форму кругового цилиндра - как в начальный период, так и в процессе изнашивания, меняется лишь радиус этого цилиндра;

- частицы почвы движутся перпендикулярно образующим цилиндра (валики навариваются именно таким образом на рабочую поверхность);

- частицы почвы при движении их по валику не успевают износиться – их масса и размеры сохраняются.

Частица, представляющая собой абразивный элемент (рисунок 1) (обозначена черным) перемещается по рабочей поверхности (1), огибая армирующий валик (2) и входя с ним в непосредственный контакт. Направление движения частицы противоположно движению детали, а ее скорость ( $V_0$ ) равна скорости скольжения этой детали по почве. На рисунке  $V_0$  показаны в разных направлениях.



1 – рабочая поверхность изделия; 2 – армирующий валик

Рисунок 1 – Движение частицы почвы по элементарному участку армированной поверхности

Рассмотрим сечение детали с наваренным на его поверхность валиком (рисунок 2). Согласно допущениям, поверхность валика представлена как цилиндрическая, а ее сечение – дуга круга некоторого радиуса  $R$ . Радиус определяется геометрическими параметрами наплавленного валика. Пусть  $m$  – масса частицы,  $F$  – сила, с которой на нее действует массив пласта почвы, прижимая ее к рабочей поверхности. В точке А, при встрече с валиком на его лобовой поверхности и направление, и скорость движения частицы меняются, причем меняются скачком (дискретно). Следовательно, скачком меняется импульс (количество движения) движущейся частицы – в точке А (рисунок 2) происходит ее удар о валик. Далее эта частица начинает скользить по поверхности валика. Ее скорость  $V=V(\varphi)$  ( $\varphi$  – полярный угол движущейся частицы) направлена по касательной к поверхности валика. Так как частица продолжает оставаться связанной с массой почвы, то проекция ее скорости  $V(\varphi)$  на плоскую поверхность остается неизменной и равной  $V_0$ .

То есть

$$V(\varphi) = \frac{V_0}{\cos \varphi} \quad (0 \leq \varphi \leq \varphi_0) \quad (1)$$

Считая  $0 \leq \varphi \leq \varphi_0$ , рассматриваем переднюю, лобовую поверхность валика. Задняя (тыльная) часть валика не рассматривается, так как действие



почвы на нее, а значит и ее износ, будут, очевидно, существенно меньшими, чем на передней поверхности валика.

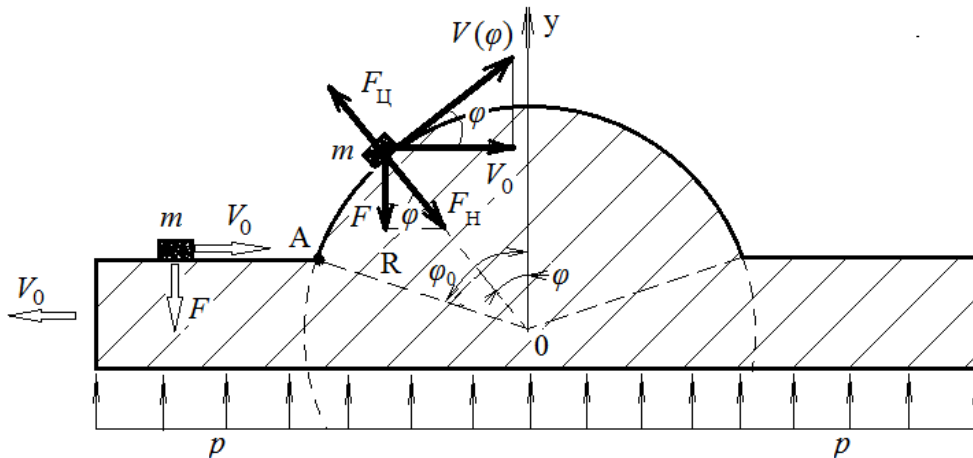


Рисунок 2 – Схема распределения сил, действующих на частицу почвы

Теперь рассмотрим силы, действующие на частицу, движущуюся по передней поверхности валика. В силу небольшой высоты валиков естественно считать, что вертикальная составляющая силы  $F_H$ , прижимающей частицу к валику, будет той же силой  $F$ , которая прижимала частицу к лемеху, когда она скользит по его горизонтальной поверхности. Следовательно,

$$F_H = \frac{F}{\cos \varphi} \quad (0 \leq \varphi \leq \varphi_0), \quad (2)$$

Кроме того, на движущуюся по окружности абразивную частицу массой  $m$  действует центробежная сила

$$F_{ц} = F_{ц}(\varphi) = \frac{mV^2(\varphi)}{R} = \frac{mV_0^2}{R \cdot \cos^2 \varphi} \quad (0 \leq \varphi \leq \varphi_0) \quad (3)$$

В итоге результирующая сила давления  $N=N(\varphi)$  частицы на поверхность валика найдется по формуле:

$$N(\varphi) = F_H - F_{ц} = \frac{F}{\cos \varphi} - \frac{mV_0^2}{R \cdot \cos^2 \varphi} \quad (0 \leq \varphi \leq \varphi_0) \quad (4)$$

Преобразуем формулу (4):

$$N(\varphi) = \frac{F}{\cos^2 \varphi} \left( \cos \varphi - \frac{mV_0^2}{R} \right) \quad (0 \leq \varphi \leq \varphi_0)$$

Введем безразмерную величину  $\lambda$ :

$$\frac{mV_0^2}{R} = \frac{F_{ц}(0)}{F} = \lambda, \quad (5)$$

где  $F_{ц}(0)$  – центробежная сила при  $\varphi = 0$ . Тогда

$$N = N(\varphi) = \frac{F}{\cos^2 \varphi} (\cos \varphi - \lambda) \quad (0 \leq \varphi \leq \varphi_0) \quad (6)$$

Частицы почвы, как известно, имеют самую разную форму и размеры (рисунок 4). Усредненной частицей будем считать кубик с некоторой стороной  $a$ . Примерно такой же подход при рассмотрении абразивных частиц почвы имеется в работах [10]. Тогда  $F = pa^2$ , где  $p$  – давление почвы на поверхность детали;  $m = \rho a^3$ , где  $\rho$  – плотность почвы. И тогда:

$$\lambda = \frac{a}{R} \frac{\rho V_0^2}{p} \quad (7)$$

В процессе работы валики истираются,  $R \rightarrow \infty$ ;  $\varphi_0 \rightarrow 0$ ;  $\lambda \rightarrow 0$  и  $N(\varphi) \rightarrow N(0) = F$ .

Теперь проанализируем формулу (6), определяющую силу давления частицы на валик (значит, и износ поверхности валика). Для этого сначала выразим угол  $\varphi_0$  и радиус  $R$  через непосредственно измеряемые параметры валика – его полуширину  $l$  и высоту  $h$ . Рассмотрим рисунок 3.

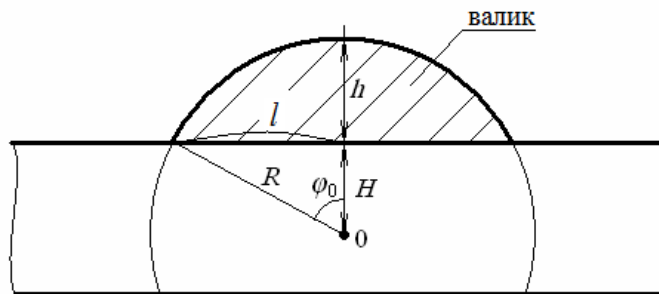


Рисунок 3 – Взаимосвязь геометрических размеров

Из этого рисунка следует:

$$H = R \cos \varphi_0; \quad l = R \sin \varphi_0; \quad h = R - R \cos \varphi_0 = R(1 - \cos \varphi_0);$$

$$\frac{h}{l} = \frac{1 - \cos \varphi_0}{\sin \varphi_0} = \frac{2 \sin^2 \frac{\varphi_0}{2}}{2 \sin \frac{\varphi_0}{2} \cos \frac{\varphi_0}{2}} = \operatorname{tg} \frac{\varphi_0}{2}. \quad (8)$$

Пусть

$$\frac{h}{l} = \gamma; \quad \text{тогда } \operatorname{tg} \frac{\varphi_0}{2} = \gamma; \quad \frac{\varphi_0}{2} = \operatorname{arctg} \gamma; \quad \varphi_0 = 2 \operatorname{arctg} \gamma. \quad (9)$$

Далее:

$$R = \frac{l}{\sin \varphi_0} = \frac{l}{2 \sin \frac{\varphi_0}{2} \cos \frac{\varphi_0}{2}} = \frac{l}{2} \left( \frac{\sin^2 \frac{\varphi_0}{2} + \cos^2 \frac{\varphi_0}{2}}{\sin \frac{\varphi_0}{2} \cos \frac{\varphi_0}{2}} \right) = \frac{l}{2} \left( \frac{\sin \frac{\varphi_0}{2}}{\cos \frac{\varphi_0}{2}} + \frac{\cos \frac{\varphi_0}{2}}{\sin \frac{\varphi_0}{2}} \right) =$$

$$= \frac{l}{2} \left( \operatorname{tg} \frac{\varphi_0}{2} + \operatorname{ctg} \frac{\varphi_0}{2} \right) = \frac{l}{2} \left( \gamma + \frac{1}{\gamma} \right) \quad (10)$$

Другой вариант подсчета для  $R$ :

$$R = \frac{h}{1 - \cos \varphi_0} = \frac{h}{2 \sin^2 \frac{\varphi_0}{2}} = \frac{h}{2} \left( \frac{\sin^2 \frac{\varphi_0}{2} + \cos^2 \frac{\varphi_0}{2}}{\sin^2 \frac{\varphi_0}{2}} \right) = \frac{h}{2} \left( 1 + \operatorname{ctg}^2 \frac{\varphi_0}{2} \right) =$$

$$= \frac{h}{2} \left( 1 + \frac{1}{\operatorname{tg}^2 \frac{\varphi_0}{2}} \right) = \frac{h}{2} \left( 1 + \frac{1}{\gamma^2} \right) = \frac{h}{2} \left( \frac{\gamma^2 + 1}{\gamma^2} \right); \quad (11)$$

В случае практической реализации формул (9) - (11) высота ( $h$ ) оставшейся части валика и его остаточная полудлина ( $l$ ) вычисляется из экспериментальных данных путем замеров геометрических параметров валика. Хотя проведение подобных замеров в реальных условиях сопряжено со значительными трудностями практического плана. Замеры  $h$  и  $l$  необходимо проводить примерно через 1 час работы пахотного агрегата.

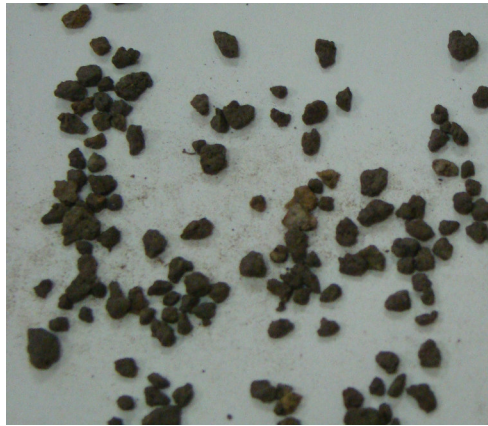


Рисунок 4 – Наиболее распространенные частицы связанных почв

Определим максимальное значение величины  $\lambda$  (формула (7)). В нее входит  $a$  – типичный линейный размер частицы почвы. Этот размер определялся с помощью просеивания почвы на ситах с различными размерами ячеек (50; 10; 5; 2,5мм). Частицы почвы разделяются по их размеру на фракции: более 50 мм - глыбы; 10...50 мм; 5...10 мм; 2,5...5 мм и менее 2,5 мм [11] (рисунок 4). Уточнение размеров проводилось при помощи микроскопа Бринелля МБУ с ценой деления 0,05 мм. Построена гистограмма распределения размеров частиц (рисунок 5), из которой следует, что в изучаемых почвах наиболее вероятно присутствие частиц с размером 1,5 мм ( $1,5 \cdot 10^{-3}$  м). Средний же размер частицы почвы  $a$  равен 1,46 мм ( $1,46 \cdot 10^{-3}$  м) и имеет массу 0,003 г. Масса определялась на аналитических весах СЕ-224-С с точностью 0,001г.

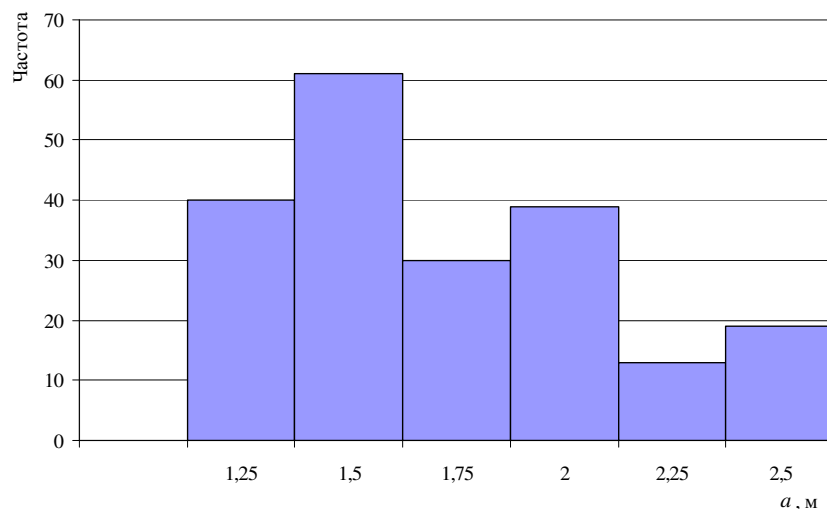


Рисунок 5 – Гистограмма распределения размеров частиц суглинистой почвы

В исследованиях [12] даны числовые значения давления  $p$  на носок лемеха плуга при различных скоростях движения агрегата, которые позволили, исходя из табличных данных, приведенных в этой монографии, построить графическую зависимость  $p = f(V_0)$  (рисунок 6). (Для построения  $p = f(V_0)$  приняты максимальные значения  $p$ ).

Теперь, используя формулы (7), (9), (11) и опираясь на предыдущие результаты, можем подсчитать максимальное числовое значение параметра  $\lambda$ . Имеем:  $a \approx 1,46 \text{ мм} = 1,46 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ; плотность  $\rho$  почвы примерно равна  $\rho = 1,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ . Реальные расчеты будут произведены на примере плужного цельнометаллического лемеха российского производства, так как эта деталь является наиболее нагруженной. Скорость  $V_0$  движения лемеха относительно почвы, несколько больше скорости движения трактора (в силу попернутости лемеха на некоторый угол по отношению к направлению движения трактора); можем рассматривать в пределах  $0,5 \dots 2,7 \text{ м/с}$  ( $2 \dots 10 \text{ км/час}$ ). А давление  $p$  почвы на носок лемеха связано со скоростью  $V_0$  зависимостью, изображенной на рисунке 6 и определится графическим методом. При скорости  $1,67 \text{ м/с}$  ( $6 \text{ км/ч}$ )  $p = 180 \text{ кН/м}^2$  ( $V_0$  принималась из условий реальной скорости агрегата в рядовых условиях эксплуатации). В начальный период пахоты параметры валика:  $h = 3,05 \text{ мм}$ , а  $l$  составляет около  $5,3 \text{ мм}$ , поэтому начальное значение  $\gamma$  равно  $0,58$ , после истирания валика  $\gamma = 0$ .

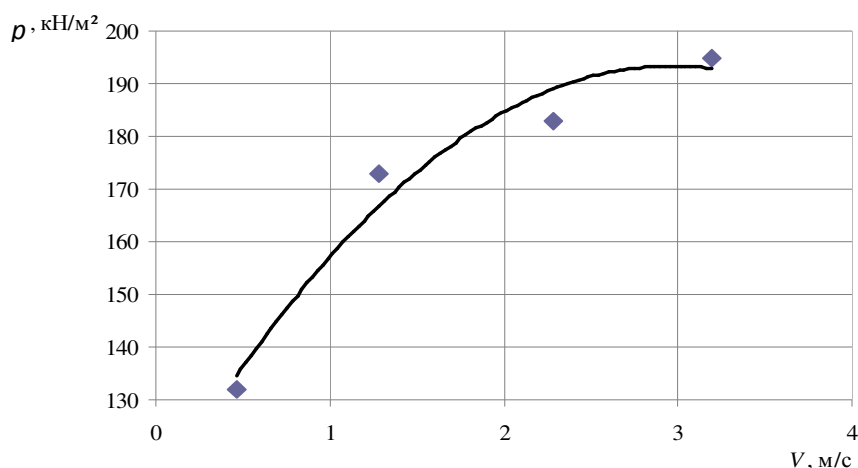


Рисунок 6 - Давление почвы на лемех при различной скорости движения (график построен по данным [12])

Как оказалось, максимальная величина  $\lambda$  равна 0,049, что много меньше  $\cos\varphi_0$  ( $\cos\varphi_0 = 0,769\dots 1$ ) уже в начальный период работы армированного лемеха. Тем более это будет иметь место и в последующие моменты времени, т.к.  $\cos\varphi_0$  увеличивается, стремясь к 1, а  $\lambda$  будет уменьшаться, стремясь к нулю. Так как  $\cos\varphi > \cos\varphi_0$  для всех  $0 \leq \varphi \leq \varphi_0$ , то тем более величина  $\lambda$  будет много меньше  $\cos\varphi$  для всех  $0 \leq \varphi \leq \varphi_0$ , причем в любые моменты времени. Пренебрегая величиной  $\lambda$  по сравнению с  $\cos\varphi$  (то есть, фактически пренебрегая, по сравнению с силой  $F$ , центростремительной силой, действующей на движущуюся по валику частицу), получим следующее упрощение формулы (6):

$$N(\varphi) \approx \frac{F}{\cos\varphi} \quad (0 \leq \varphi \leq \varphi_0). \quad (12)$$

Формула (12) показывает, что максимальной сила давления  $N(\varphi)$  частицы на валик будет при  $\varphi = \varphi_0$ , то есть в точке  $A$  (рисунок 2). А минимальной – в верхней точке валика (при  $\varphi = 0$ ):

$$(N(\varphi))_{\max} = N(\varphi_0) \approx \frac{F}{\cos\varphi_0}; \quad (N(\varphi))_{\min} = N(0) \approx F \quad (13)$$

А так как

$$\cos\varphi_0 = \cos(2\arctg\gamma) = \left| \text{учтем, что } \cos 2\alpha = \frac{1 - \operatorname{tg}^2 \alpha}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} \right| = \frac{1 - \operatorname{tg}^2(\arctg\gamma)}{1 + \operatorname{tg}^2(\arctg\gamma)} = \frac{1 - \gamma^2}{1 + \gamma^2},$$

то

$$(N(\varphi))_{\max} = N(\varphi_0) \approx F \cdot \frac{1 + \gamma^2}{1 - \gamma^2}; \quad (N(\varphi))_{\min} = N(0) \approx F \quad (14)$$

В процессе работы детали валики истираются, значение  $\gamma \rightarrow 0$ , и  $(N(\varphi))_{\max} \rightarrow (N(\varphi))_{\min} = F$ .

На рисунке 7 представлено графическое изображение отношения  $(N(\varphi))_{\max}$  к  $(N(\varphi))_{\min}$ :

$$\frac{(N(\varphi))_{\max}}{(N(\varphi))_{\min}} = \frac{N(\varphi_0)}{N(0)} = f(\gamma) = \frac{1 + \gamma^2}{1 - \gamma^2} \quad (18)$$

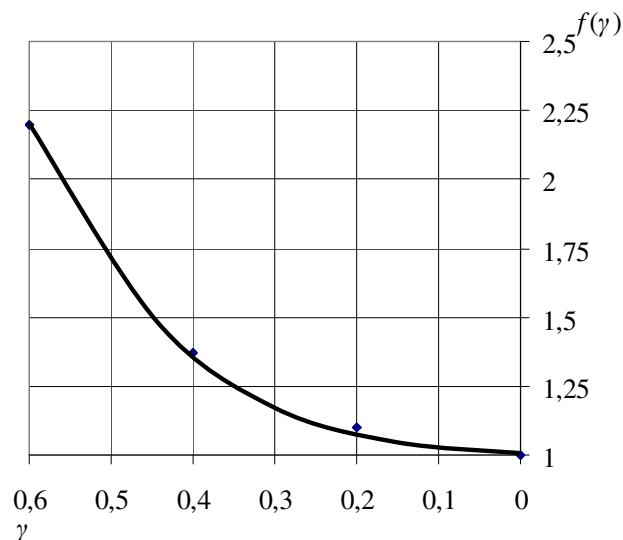


Рисунок 7 – Отношение максимальной силы давления частицы на валик к соответствующей минимальной силе

Этот рисунок наглядно показывает, как по мере износа валика (при уменьшении  $\lambda$ ) уменьшается максимальная сила давления частиц почвы на валик, приближаясь к своему минимальному значению.

Можно оценить и степень износа поверхности валика в различных его точках (для различных углов  $\varphi$ ,  $0 \leq \varphi \leq \varphi_0$ ). Износ  $I(\varphi)$  поверхности валика (толщина изношенного слоя) пропорционален силе  $N(\varphi) = \frac{F}{\cos \varphi}$  давления частиц почвы на валик; пропорционален скорости  $V(\varphi) = \frac{V_0}{\cos \varphi}$  движения частиц по поверхности валика; пропорционален времени  $t$  движения трактора. Так как скорость  $V_0$  частиц почвы по поверхности детали пропорциональна скорости  $V$  движения трактора, то

$$I(\varphi) = k_m \cdot \frac{VF}{\cos^2 \varphi} \cdot t = k_m \frac{FL_{mp}}{\cos^2 \varphi} \quad (0 \leq \varphi \leq \varphi_0). \quad (19)$$

Здесь  $L_{mp} = Vt$  – пройденный трактором путь, а  $k_m$  – некий числовой коэффициент, определяемый главным образом абразивными свойствами частиц почвы и износостойкостью материала валиков.

Формула (19) показывает, что износ валика неоднороден. Максимальным он будет при  $\varphi = \varphi_0$  (в точке А), а минимальным – в верхней точке валика (при  $\varphi = 0$ ). При этом

$$\frac{(I(\varphi))_{\max}}{(I(\varphi))_{\min}} = \frac{I(\varphi_0)}{I(0)} = \frac{1}{\cos^2 \varphi_0} = g(\gamma) = \left( \frac{1 + \gamma^2}{1 - \gamma^2} \right)^2 \quad (20)$$

Графическое изображение функции  $g(\gamma)$  представлено на рисунке 8, при построении графика принятые числовые значения  $\gamma$  обусловлены следующими соображениями: в начальный период пахоты  $h = 3,05$  мм, а  $l$  составляет около 5,3 мм, поэтому начальное значение  $\gamma$  равно 0,58, после истирания валика  $\gamma = 0$ .

В процессе работы детали  $\gamma \rightarrow 0$ , и износ валика становится все более однородным по всему его контуру, что демонстрируется схемой процесса его износа (рисунок 9) (схема носит примерный характер).

Практическая реализация теоретических выкладок производится определением зависимостей  $N(\varphi_0) = f(\gamma)$  при разных значениях скоростей перемещения агрегата ( $V_0 = 2; 6; 10$  км/ч (0,56; 1,67; 2,78 м/с) и  $N(\varphi_0) = f(V_0)$  при разных значениях  $\gamma$  ( $\gamma = 0; 0,2; 0,4; 0,58$ ). Критерий  $\gamma$  выступает как характеристика степени износа валика. Начальные параметры приведены выше.

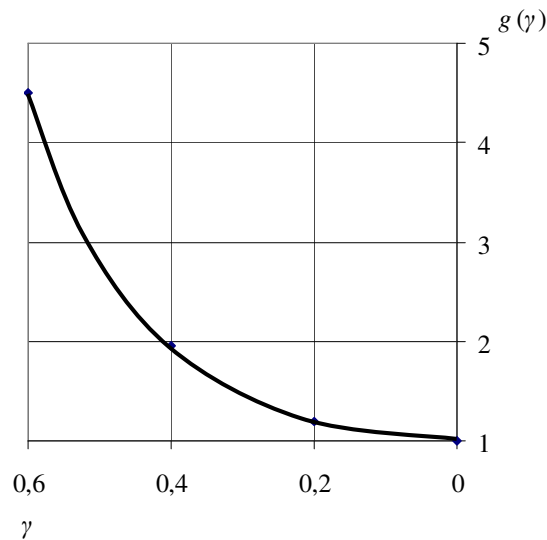


Рисунок 8 – Отношение максимальной величины износа валика к минимальной

Изменим в формуле (14)  $F$  на  $a^2 \cdot p(V_0)$  и получим

$$(N(\varphi_0))_{\max} = N(\varphi_0) = a^2 \cdot p(V_0) \frac{1 + \gamma^2}{1 - \gamma^2} \quad (21)$$



Для определения силы давления  $N(\varphi_0)$  почвы на валик в точке А как максимального (рисунок 2). Определив  $p(V_0)$  по графику (рисунок 6) получаем графические зависимости  $N(\varphi_0) = f(\gamma)$  (рисунок 10) и  $N(\varphi_0) = f(\varphi_0)$  (рисунок 11) (расчеты приведены в таблице 1).

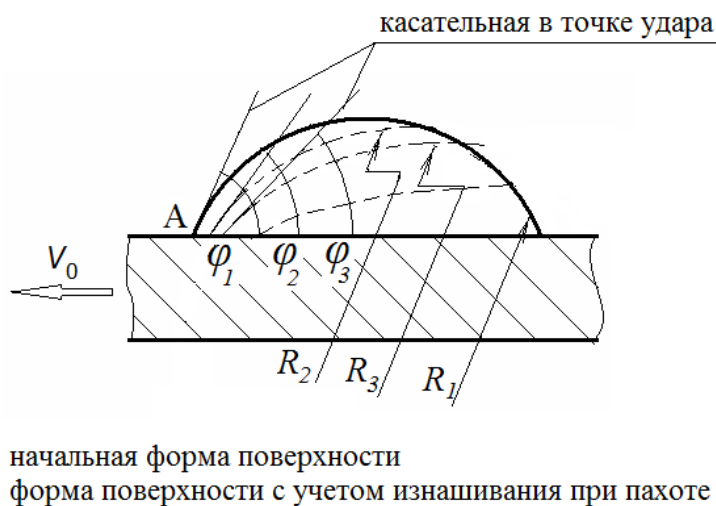


Рисунок 9 – Схема процесса износа армирующего валика

Таблица 1 – Распределение сил, действующих на валик

$\varphi$	$V_0$ , м/с	$V=V_0/\cos\varphi$ , м/с	F, Н	$F_H=F/\cos\varphi$ , Н	m, кг	R, м	$F_{ц}=mV^2/R\cos\varphi$ , Н	$N(\varphi)=F_H-F_{ц}$ , Н
45	1,67	2,36	0,35	0,495	0,000003	0,005	0,00473	0,490
40	1,67	2,18	0,35	0,457	0,000003	0,005	0,00372	0,453
35	1,67	2,04	0,35	0,427	0,000003	0,005	0,00304	0,424
30	1,67	1,93	0,35	0,404	0,000003	0,005	0,00257	0,402
25	1,67	1,84	0,35	0,386	0,000003	0,005	0,00225	0,384
20	1,67	1,78	0,35	0,372	0,000003	0,005	0,00202	0,370
15	1,67	1,73	0,35	0,362	0,000003	0,005	0,00186	0,360
10	1,67	1,70	0,35	0,355	0,000003	0,005	0,00175	0,354
5	1,67	1,68	0,35	0,351	0,000003	0,005	0,00169	0,350
0	1,67	1,67	0,35	0,350	0,000003	0,005	0,00167	0,348

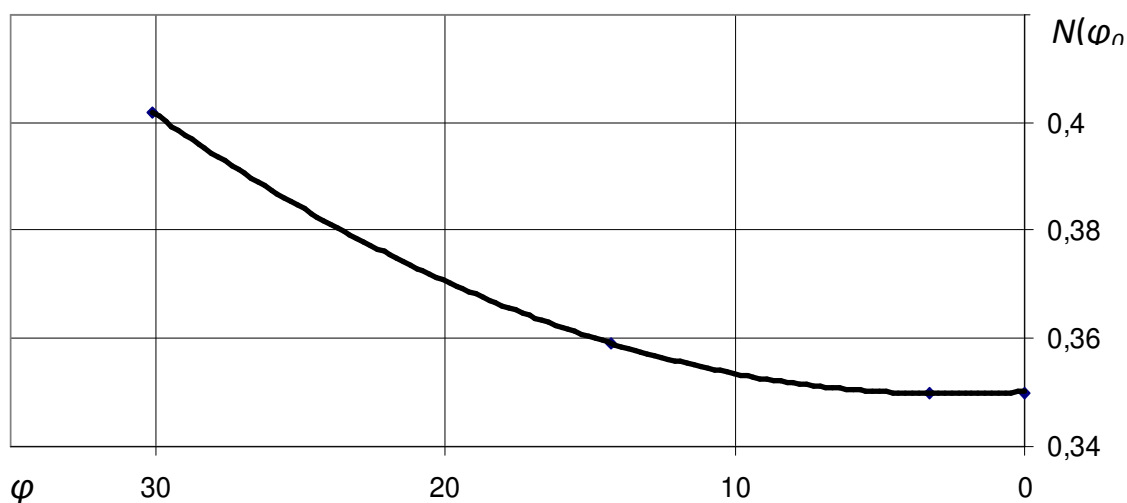


Рисунок 10 – Изменение силы  $N(\varphi)$ , действующей в точке А в процессе работы в зависимости от критерия  $\gamma$  при различных значениях скоростей перемещения агрегатов

Рассмотренная задача по определению  $N(\varphi_0) = f(\gamma)$  и  $N(\varphi_0) = f(\varphi_0)$  в относительных координатах показывает характер изменения силы давления частицы на валик от степени его износа. В реальных условиях для расчетов вводится угол  $\varphi_0$  (рисунок 9) как характеристика величины износа валика.

Изменение  $N(\varphi)$  происходит следующим образом: в начальный период наблюдается достаточно резкое падение силы сопротивления с последующим выравниванием (стабилизацией) (рисунки 10 и 11). Уменьшение силы сопротивления перемещению частицы почвы, а, значит, и всего пласта почвы, вызовет снижение потребляемой мощности и, следовательно, расхода топлива. Как следует из графика (рисунок 10), стабилизация  $N(\varphi_0)$  наступает примерно при  $\gamma = 0,15$ ; т.е. когда валик частично сохраняет свои размеры.

Зависимость  $N(\varphi_0) = f(V_0)$  показывает, что с увеличением скорости движения агрегата на уровне  $V_0 = 8...10$  км/ч происходит выравнивание результирующей силы  $N(\varphi_0)$ , т.е. при таких  $V_0$  влияние почвенной массы на силу  $N\varphi_0$  постоянно. В этом случае происходит измельчение почвы до пылеобразного состояния. С уменьшением критерия  $\gamma$  происходит снижение влияния скорости  $V_0$  на изменение силы.

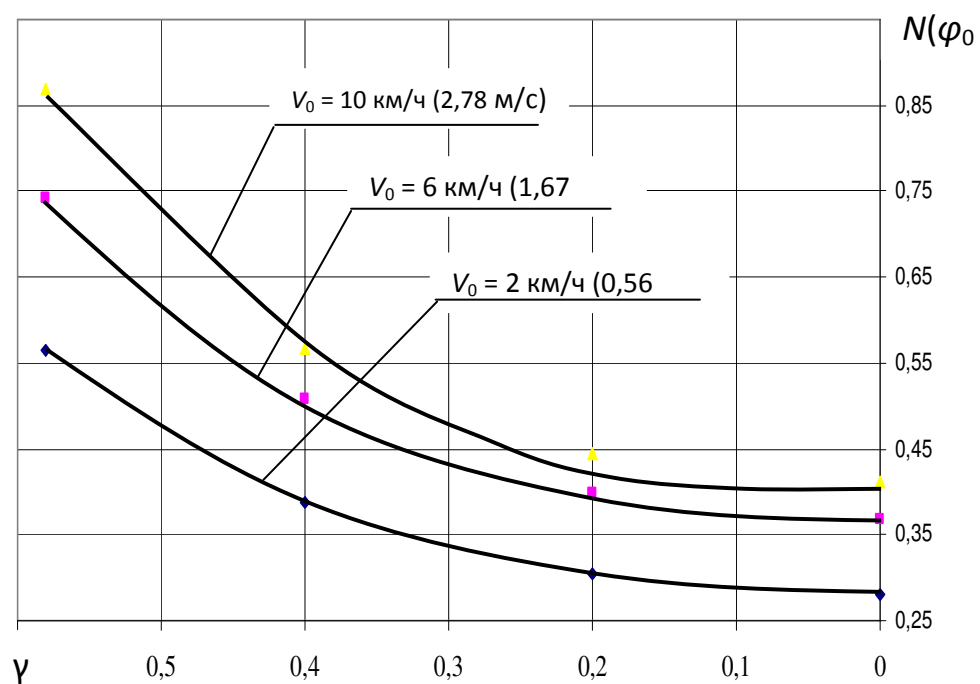


Рисунок 11 – Изменение силы  $N(\varphi)$ , действующей в точке А в процессе работы в зависимости от угла  $\varphi_0$  при скорости  $V_0 = 1,67$  м/с (6 км/ч)

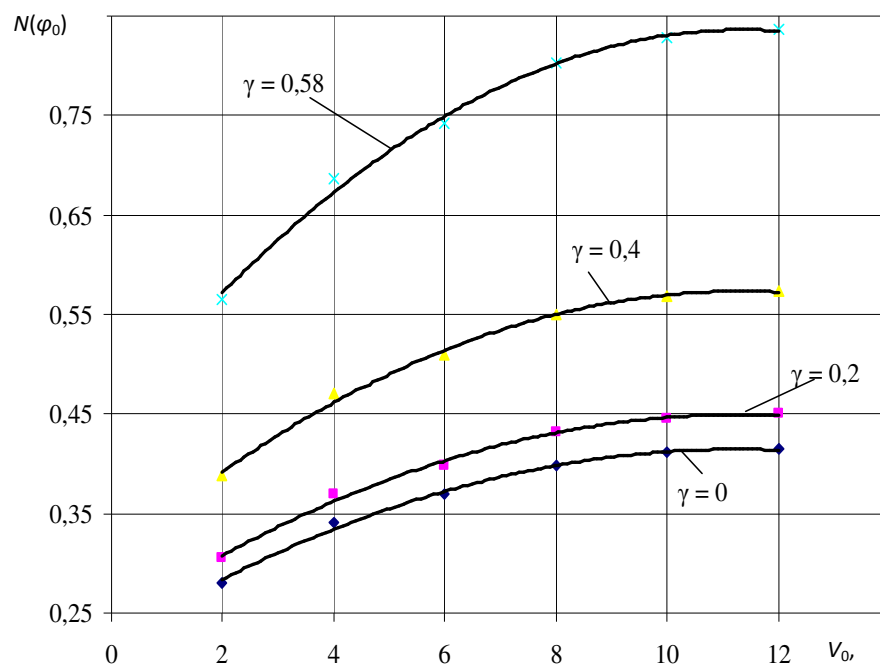


Рисунок 12 - Изменение силы, действующей в точке А, в зависимости от скорости движения при различном износе валиков

Таким образом, в процессе работы детали, приводящей к истиранию армирующих валиков, величина угла  $\varphi_0$  уменьшается, что в свою очередь влечет снижение силы  $N(\varphi_0)$ , действующей на поверхность валика, а данный фактор вызывает уменьшение тягового сопротивления, следовательно, расхода топлива.

Анализируя решение задачи перемещения частицы почвы по криволинейной поверхности, установлено следующее:

1. Изнашивание армирующего валика приводит к уменьшению действующей на него силы давления абразивных частиц почвы, со стабилизацией при определенной величине износа валика.

2. Величина износа валика неоднородна по его периметру. Максимальный износ имеет место в области стыка валика и рабочей поверхности детали, где происходит непосредственный контакт абразива и валика, так называемая лобовая поверхность.

3. Увеличение скорости движения агрегата приводит к увеличению давления абразива на лобовую поверхность валика с последующей его стабилизацией.

4. В процессе эксплуатации из-за износа валиков происходит падение и стабилизация результирующей силы давления частицы, а, следовательно, уменьшение тягового усилия, что приведет к расходу топлива равному (одинаковому) в случае гладкой поверхности.

### **Определение силы сопротивления почвы движению рабочего органа при наличии армированной рабочей поверхности**

Следующей задачей теоретических исследований явилось рассмотрение влияния армирования на силу сопротивления почвы движению рабочего органа. В изысканиях рассматривается случай, когда деталь выполняет операцию с максимальными внешними нагрузками.

Пусть вертикально расположенная пластина с горизонтальной верхней кромкой движется в почве горизонтально со скоростью  $v_0$  (скоростью трактора) под некоторым углом  $\alpha$  к своей плоскости. Движение детали приводит к тому, что частицы почвы, скользя с некоторой скоростью  $v_*$  по его поверхности, съезжают с этой поверхности и далее уходят в почвенный отвал (рисунок 13). Требуется найти силу сопротивления почвы движению детали.

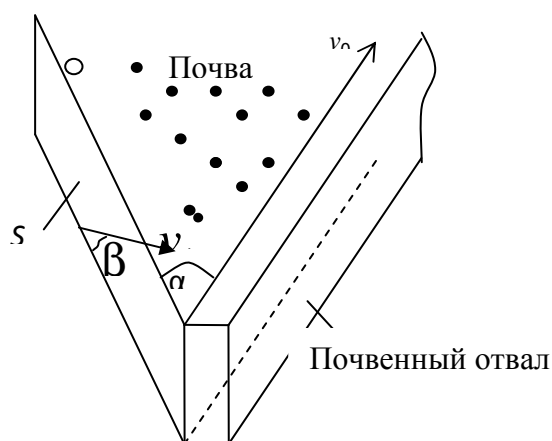


Рисунок 13 – Схема перемещения почвы по рабочей поверхности детали

Задача решается в два этапа.

1. Рассмотрим сначала гладкую (не армированную) рабочую поверхность. Пусть  $p$  - давление почвы на переднюю поверхность детали. Как свидетельствуют опытные данные, указанное давление распределено по поверхности рабочего органа неравномерно – у носка больше, на задней кромке меньше, и зависит оно от скорости движения трактора (рисунок 6). Пусть  $p_{cp}$  - среднее давление почвы на переднюю поверхность детали. Тогда:

$$F_{тр} = kp_{cp}S \quad (22)$$

- сила трения скольжения между деталью и почвой, где  $k$  – коэффициент трения детали о почву, а  $S$  - площадь поверхности детали. Эта сила трения приложена к детали со стороны почвы и действует вдоль

движения частиц почвы (в направлении скорости их движения  $v_*$ ). В силу некоторой изогнутости рабочей поверхности частицы почвы движутся по детали в направлении «назад-вверх», то есть под некоторым углом  $\beta$  к горизонтальной кромке детали. Вертикальная составляющая  $v_* \sin \beta$  вектора  $v_*$  перпендикулярна скорости  $v_0$ . А горизонтальная составляющая  $v_* \cos \beta$  составляет с направлением  $v_0$  движения трактора угол  $\pi - \alpha$ . Проекция этой составляющей на направление движения трактора равна

$$v_* \cos \beta \cos(\pi - \alpha) = -v_* \cos \beta \cos \alpha \quad (23)$$

Соответственно и проекция силы трения  $F_{\text{тр}}$  почвы о деталь на направление движения трактора равна

$$-F_{\text{тр}} \cos \beta \cos \alpha \quad (24)$$

Эта сила направлена против движения трактора и будет тормозить его. Для преодоления этой силы трактор должен развить такую же силу тяги направленную по его движению.

$$F_{\text{тр}} \cos \beta \cos \alpha = k p_{\text{ср}} S \cos \beta \cos \alpha, \quad (25)$$

Но это не вся сила, необходимая трактору для перемещения рабочего органа в почве. Рабочий орган почвообрабатывающей машины, осуществляя обработку почвы, приводит в движение соприкасающуюся с ним почву, что требует от него дополнительной силы тяги  $F_{\text{доп}}$ .

Найдем эту дополнительную силу. Так как частицы почвы, скользя по детали, должны уходить назад с той же скоростью  $v_0$ , с которой деталь идет вперед, то проекция  $-v_* \cos \beta \cos \alpha$  скорости  $v_*$  на ось скорости  $v_0$  должна быть равна  $-v_0$ . Отсюда следует:

$$v_* = \frac{v_0}{\cos \beta \cos \alpha} \quad (26)$$

Относительно неподвижной системы координат, связанной с грунтом, частицы почвы, летящей в почвенный отвал, летят перпендикулярно движению трактора со скоростью

$$v = \sqrt{v_*^2 - v_0^2} = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \beta \cos^2 \alpha}}{\cos \beta \cos \alpha} \cdot v_0 \quad (27)$$

Найдем объем  $V_{поч}$  почвы, уходящей в отвал за определенное время ( $t_{неп}$ ). Так как в отвал уходит столько почвы, сколько её задействуется (приводится в движение) движущимся рабочим органом, то согласно рисунку 13

$$V_{поч} = St_{неп} v_0 \sin \alpha \quad (28)$$

Если  $\rho$  - плотность почвы, то масса  $m$  этого объема  $V_{поч}$  равна:

$$m = \rho V_{поч} = \rho St_{неп} v_0 \sin \alpha \quad (29)$$

Так как эта масса уходит в отвал со скоростью (27), то она обладает кинетической энергией

$$T_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{\rho St_{неп} v_0^3 \sin \alpha (1 - \cos^2 \beta \cos^2 \alpha)}{2 \cos^2 \beta \cos^2 \alpha} \quad (30)$$

Эту энергию за единицу времени должен придать почве, летящей в отвал, трактор. Для этого он должен развить мощность  $N_{mp}$ , численно равную этой кинетической работе  $T_k$ . То есть

$$N_{mp} = \frac{\rho St_{неп} v_0^3 \sin \alpha (1 - \cos^2 \beta \cos^2 \alpha)}{2 \cos^2 \beta \cos^2 \alpha} \quad (31)$$

Так как мощность – это произведение силы на скорость, то производство трактором этой мощности при скорости его движения  $v_0$  равносильно тому, что трактор прикладывает силу тяги

$$F_{доп} = \frac{N_{mp}}{v_0} = \frac{\rho St_{неп} v_0^2 \sin \alpha (1 - \cos^2 \beta \cos^2 \alpha)}{2 \cos^2 \beta \cos^2 \alpha} \quad (32)$$

Тогда общая (суммарная) сила  $F_{\Sigma}$  сопротивления почвы движению в ней рабочего органа (она же – общая сила тяги трактора, необходимая для преодоления этой силы сопротивления) найдется суммированием сил (25) и (32):

$$F_{\Sigma} = k p_{cp} S \cos \beta \cos \alpha + \frac{\rho S t_{nep} v_0^2 \sin \alpha (1 - \cos^2 \beta \cos^2 \alpha)}{2 \cos^2 \beta \cos^2 \alpha} \quad (33)$$

2. А теперь рассмотрим ту же деталь, только армированную наваренными на нее валиками. В этом случае второе слагаемое силы (33) не изменится, так как оно определяется объемом почвы, уходящей в отвал, и скоростью её движения, непосредственно связанной со скоростью движения трактора. А эти величины не зависят от того, армирована деталь или не армирована. Сохранится в формуле (33) и первое слагаемое, связанное с трением скольжения детали о почву. В этом слагаемом изменится лишь значение коэффициента трения скольжения  $k$  - он, в силу наличия на поверхности детали валиков, увеличится на некоторую величину  $\Delta k(T)$ , зависящую от площади  $T$  (га), обработанной рабочим органом, ибо в процессе работы деталь (в процессе изменения величины  $T$ ) будет идти процесс приработки и абразивного стирания наваренных на деталь валиков. То есть коэффициент  $k_*$  трения скольжения для детали с наваренными на него валиками можно записать в виде

$$k_* = k + \Delta k(T) \quad (34)$$

И тогда

$$F_* = F_*(T) = (k + \Delta k(T)) p_{cp} S \cos \beta \cos \alpha + \frac{\rho S t_{nep} v_0^2 \sin \alpha (1 - \cos^2 \beta \cos^2 \alpha)}{2 \cos^2 \beta \cos^2 \alpha} \quad (35)$$

- сила сопротивления почвы движению в ней армированного рабочего органа. Зная коэффициент  $k$  трения скольжения гладкой детали о почву, и зная функцию  $\Delta k(T)$ , характеризующую увеличение этого коэффициента вследствие армирования детали, по формулам (33) и (35) можем найти силы сопротивления движению детали в почве. И наоборот, зная силы сопротивления  $F$  и  $F_*$  и остальные параметры, входящие в формулы (33) и (35), можем определить  $k$  и  $\Delta k(T)$ .



Отметим, что и значение  $k$ , и вид функции  $\Delta k(T)$  зависят от множества факторов – состава и структуры почвы, качества поверхности рабочего органа, технологии армирования поверхностей деталей валиками, абразивных свойств частиц почвы и т.д., и могут быть найдены лишь экспериментально.

По сравнению с силой сопротивления  $F$  не армированного рабочего органа сила сопротивления  $F_*$  рабочего органа армированного должна увеличиться на величину

$$\Delta F(T) = F_* - F = \Delta k(T) p_{cp} S t_{nep} \cos \beta \cos \alpha \quad (36)$$

Это увеличение приведет к перерасходу  $\Delta Q(T)$  (литров на гектар) топлива, потребляемого трактором. Следует полагать, что зависимость  $\Delta Q(T)$  при разных технологиях армирования имеет примерно следующий вид (рисунок 14), так как теоретически установлено аналогичное изменение силы сопротивления при износе, объясняющееся самоорганизацией (приработкой) рабочей поверхности (предыдущий раздел). Износ же связан прямо-пропорциональной зависимостью с наработкой [13]. Кроме того, расход топлива в определяется силой сопротивления движению агрегата [14].

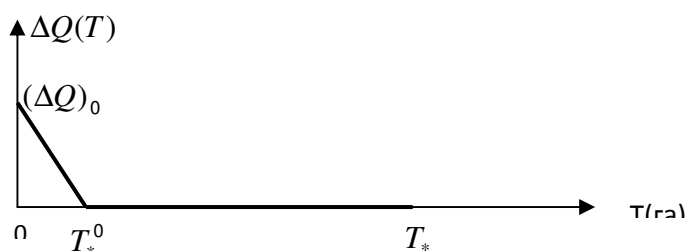


Рисунок 14 – Характер изменения расхода топлива от наработки

Здесь  $T_*$  (га) - общая наработка армированной детали до исчерпания ею своего ресурса;  $T_*^0$  (га) - это та часть площади  $T_*$ , при прохождении которой приработавшиеся и частично стертые валики перестают оказывать заметное дополнительное сопротивление движению детали в почве, а значит,

прекращается перерасход трактором топлива;  $(\Delta Q)_0$  (литров на гектар) - перерасход топлива в начале обработки почвы.

Аналитически функция  $\Delta Q(T)$ , в соответствии с рисунком 14, описывается следующей формулой:

$$\Delta Q(T) = \begin{cases} (\Delta Q)_0 \left(1 - \frac{T}{T_*^0}\right), & \text{если } 0 \leq T \leq T_*^0 \\ 0, & \text{если } T_*^0 \leq T \leq T_* \end{cases} \quad (37)$$

Так как расход топлива пропорционален силе сопротивления движению агрегата, то аналогичными будут зависимости  $\Delta F(T)$  и  $\Delta k(T)$ :

$$\Delta F(T) = \begin{cases} (\Delta F)_0 \left(1 - \frac{T}{T_*^0}\right), & \text{если } 0 \leq T \leq T_*^0 \\ 0, & \text{если } T_*^0 \leq T \leq T_* \end{cases};$$

$$\Delta k(T) = \begin{cases} (\Delta k)_0 \left(1 - \frac{T}{T_*^0}\right), & \text{если } 0 \leq T \leq T_*^0 \\ 0, & \text{если } T_*^0 \leq T \leq T_* \end{cases} \quad (38)$$

Здесь  $(\Delta F)_0$  и  $(\Delta k)_0$  - это  $\Delta F(T)$  и  $\Delta k(T)$  при  $T = 0$ , то есть в начале обработки почвы. Определив их экспериментально, будем знать зависимость  $\Delta F(T)$  и  $\Delta k(T)$  при любом  $T$ .

Формула (38) показывает, что процесс износа валиков идет таким образом, что дополнительное сопротивление  $\Delta F(T)$  движению детали, которое они вносят, убывает с увеличением наработки рабочего органа  $T$ .

Таким образом, теоретические изыскания позволили установить, что:

- расход топлива у армированных деталей несколько выше, чем у неармированных;
- получен характер изменения  $\Delta Q = f(T)$  и  $\Delta F = f(T)$ ;
- имеет место выравнивание расходов топлива у армированных и неармированных рабочих органов почвообрабатывающих деталей при определенной наработке, значительно меньшей суммарной;
- показана необходимость учета рельефа рабочей поверхности контакта детали с почвенной средой через коэффициент трения.

## **Экономическая эффективность применения технологических приемов упрочнения наплавочным армированием**

Применение технологических приемов [9,15,16,17,18] ведет к повышению износостойкости рабочих органов почвообрабатывающих машин, а значит и к увеличению их долговечности. Вместе с тем, как показано выше, армирование первоначально гладких поверхностей деталей может вести (по крайней мере, на начальном этапе работы) к росту сопротивления их движению в почве вследствие наличия наплавленных валиков. То есть может вести к увеличению тягового усилия трактора, а значит и к дополнительному расходу потребляемого трактором горючего. При расчете экономической эффективности использования технологических приемов армирования особо следует учитывать расход топлива, так как его стоимость в общих затратах на производство на производство сельскохозяйственной продукции достигает 40%. Кроме того, армирование лемехов ведет и к некоторому их удорожанию. Поэтому необходим обобщенный анализ экономической эффективности использования предложенной технологии с учетом всех возможных факторов.

Пусть  $T$  (га) наработка не армированной детали, то есть  $T$  (га) - общая площадь, которую может обработать эта деталь до исчерпания своего ресурса, а  $T_*$  (га) – соответственно аналогичная наработка армированной детали. Пусть  $F$  - сила сопротивления почвы движению в ней гладкой (не армированной) детали, то есть  $F$  - сила тяги, которую, преодолевая силу трения этой рабочей поверхности о почву, развивает трактор, а  $\Delta F$  - дополнительная сила тяги трактора, связанная с армированием поверхности детали. Так как в процессе пахоты происходит изменение формы и размеров, наваренных на деталь валиков, то дополнительная сила  $\Delta F$  является функцией наработки детали, то есть является функцией площади  $T$ , обработанной рабочим органом почвообрабатывающей машины. В соответствии с формулой (38), функциональная зависимость  $\Delta F = f(T)$  графически будет аналогична изображенной на рисунке 14 зависимости

$\Delta Q = f(T)$ , т.к. существует прямо-пропорциональная связь между тяговым усилием трактора и расходом им горючего [14]. Таким образом, можем считать (с определенными допущениями) что зависимость  $\Delta F(T)$ , если ее спрямить, имеет вид (рисунок 15).

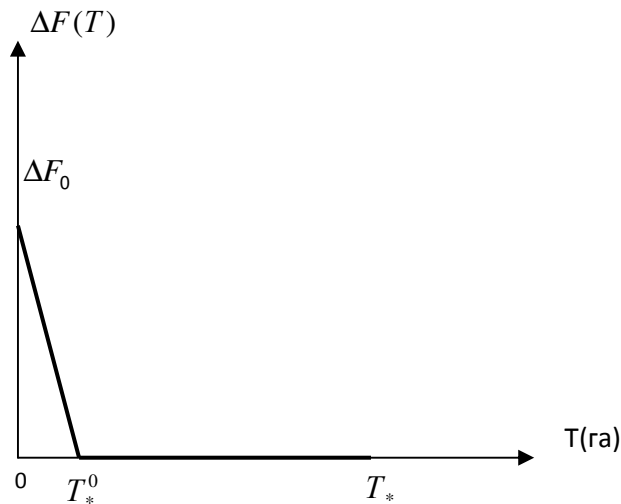


Рисунок 15 – График зависимости дополнительной силы сопротивления почвы движению рабочего органа почвообрабатывающей машины от его наработки

Здесь  $T_*^0$  - это та часть площади  $T_*$ , после обработки которой приработавшиеся (в процессе самоорганизации изнашивания) и частично стертые валики перестают создавать заметное дополнительное сопротивление движению армированной детали. Таким образом, согласно рисунку 15,

$$\Delta F(T) = \begin{cases} \Delta F_0 \left( 1 - \frac{T}{T_*^0} \right), & \text{если } 0 \leq T \leq T_*^0 \\ 0, & \text{если } T_*^0 \leq T \leq T_* \end{cases} \quad (39)$$

При этом  $\Delta F_0$  - это сила сопротивления, которую создают валики в начале работы детали (новые, еще не приработавшиеся, валики).

Если  $F_*(T)$  - сила тяги трактора, которая необходима для преодоления силы трения о почву армированной детали, то

$$F_*(T) = F + \Delta F(T) \quad (0 \leq T \leq T_*) \quad (40)$$

Введем безразмерную величину

$$\eta = \frac{\Delta F_0}{F}, \quad (41)$$

представляющую собой относительное увеличение сопротивления армированной детали по сравнению с сопротивлением детали, не армированной на начальном этапе работы. Тогда функция  $F_*(T)$  примет вид:

$$F_*(T) = F(1 + \Delta f(T)) \quad (0 \leq T \leq T_*), \quad (42)$$

где

$$\Delta f(T) = \begin{cases} \eta \left( 1 - \frac{T}{T_*^0} \right), & \text{если } 0 \leq T \leq T_*^0 \\ 0, & \text{если } T_*^0 \leq T \leq T_* \end{cases} \quad (43)$$

А теперь найдем работы  $A$  и  $A_*$ , совершаемые силами  $F$  и  $F_*$  на площадях обработки почвы  $T$  и  $T_*$  соответственно. Пусть  $L$ ,  $L_*$  и  $L_*^0$  - расстояния, которые пройдет деталь, обрабатывающая площади  $T$ ,  $T_*$  и  $T_*^0$  соответственно, а  $l_l$  (м) - расстояние, которое проходит деталь, обрабатывающая  $T$  (га). Так как величины  $l_l$  и  $T$  пропорциональны с некоторым коэффициентом пропорциональности  $\mu$ , то

$$l_l = \mu T; \quad L = \mu T; \quad L_* = \mu T_*; \quad L_*^0 = \mu T_*^0$$

И тогда

$$A = FL = \mu FT; \\ A_* = \int_0^{L_*} F_*(l) dl = \mu \int_0^{T_*} F_*(T) dT = \mu F \int_0^{T_*} (1 + \Delta f(T)) dT = \mu F \left( T_* + \frac{\eta}{2} T_*^0 \right). \quad (44)$$

Работа трактора осуществляется за счет тепловой энергии, получаемой при сжигании им топлива. При увеличении работы, совершаемой трактором после армирования деталей, возрастет и количество потребляемого им топлива, а, значит, соответственно возрастают и затраты на обработку почвы.

Пусть  $d$  (л) и  $d_*$  (л) – количества топлива, затрачиваемого трактором на выполнение работ  $A$  и  $A_*$  соответственно. Так как выполняемая работа и затраты горючего на её выполнение пропорциональны, то

$$\frac{d}{A} = \frac{d_*}{A_*}, \quad (45)$$

откуда, согласно (44), получаем

$$d_* = d \cdot \frac{A_*}{A} = d \cdot \frac{T_*}{T} \cdot \left(1 + \frac{\eta \varepsilon}{2}\right), \quad (46)$$

где

$$\varepsilon = \frac{T_*^0}{T_*}. \quad (47)$$

Пусть  $D$  (л) и  $D_*$  (л) - общие количества топлива, затрачиваемые трактором при обработке почвы каждым рабочим органом почвообрабатывающей машины площадей  $T$  и  $T_*$  соответственно (то есть до потери ресурса детали). Кстати, если  $n$  - количество каждым рабочих органов в почвообрабатывающей машине, то соответствующие площади, обработанные трактором, будут  $nT$  и  $nT_*$ , а выполненные работы трения всех рабочих органов почвообрабатывающей машины будут  $nA$  и  $nA_*$ , на что будет затрачено соответственно  $nd$  и  $nd_*$  литров горючего.

Величины  $D$  и  $D_*$  состоят из двух слагаемых. Первое из них – это затраты топлива на функционирование и передвижение трактора как такового (без почвообрабатывающей машины), на преодоление сопротивления почвы другим (кроме рабочих органов) частям почвообрабатывающей машины, например, на переворачивание почвы. Если на всё это трактор расходует  $Q_0$  (л/га), то первые составляющие (слагаемые) величин  $D$  и  $D_*$  составят соответственно  $nTQ_0$  и  $nT_*Q_0$  литров. А вторые – соответственно  $nd$  и  $nd_*$  литров. Таким образом, получаем:

$$D = nTQ_0 + nd; \quad D_* = nT_*Q_0 + nd_* \quad (48)$$

Разделив величины  $D$  и  $D_*$  на площади  $nT$  и  $nT_*$  соответственно, мы получим общий расход топлива трактора  $Q$  (л/га) и  $Q_*$  (л/га), отнесенный к 1 га обработанного поля почвообрабатывающими машинами с не армированными и армированными  $n$  рабочими органами соответственно:

$$Q = \frac{D}{nT} = Q_0 + \frac{d}{T}; \quad Q_* = \frac{D_*}{nT_*} = Q_0 + \frac{d_*}{T_*} \quad (49)$$

Таким образом, средний перерасход  $\Delta Q$  (л/га) топлива трактора с почвообрабатывающей машиной с армированными рабочими органами по сравнению с не армированными в пересчете на 1 га составит

$$\Delta Q = Q_* - Q = \frac{d_*}{T_*} - \frac{d}{T} \quad (50)$$

То есть, с учетом (46),

$$\Delta Q = \frac{d}{T} \cdot \frac{\varepsilon\eta}{2} \quad (51)$$

Отметим, что перерасход топлива является максимальным в начале работы рабочих органов почвообрабатывающих машин и убывает в процессе этой работы в соответствии с рисунком 15.

Пусть  $(\Delta Q)_0$  (л/га) – максимальный перерасход топлива (перерасход в начале работы, когда у валиков, армирующих поверхности деталей, еще нет существенного износа, а, следовательно, еще не заметно снижение их сопротивления движению в почве). То есть  $(\Delta Q)_0$  - это перерасход топлива на 1 га при армированных рабочих органах почвообрабатывающих машин в начале работы при условии, что сопротивление валиков в ходе работы трактора не меняется. Величину  $(\Delta Q)_0$  можно определить экспериментально.

С другой стороны, величину  $(\Delta Q)_0$  можно и подсчитать. Если  $F$  - сила сопротивления движению гладкого рабочего органа, а  $F_* = F + \Delta F_0 = F(1 + \eta)$  - армированного, то при обработке 1 га эти силы совершат работы, пропорциональные этим силам. А значит, им будут пропорциональны и количества топлива  $P$  и  $P_*$ , необходимые для совершения этих работ. То есть

$$\frac{P_*}{P} = \frac{F_*}{F} = 1 + \eta, \text{ откуда } P_* = P(1 + \eta) \quad (52)$$

Так как остальные затраты топлива при обработке почвы одной и той же площади не зависят от армирования или не армирования рабочей поверхности почвообрабатывающей машины, то

$$(\Delta Q)_0 = P_* - P = P\eta, \quad (53)$$

откуда

$$\eta = \frac{(\Delta Q)_0}{P} = \frac{T}{d} (\Delta Q)_0, \text{ так как } P = \frac{d}{T} \quad (54)$$

Подставляя (54) в (52), получим:

$$\Delta Q = \frac{\varepsilon}{2} (\Delta Q)_0 \quad (55)$$

Это – средний перерасход топлива на 1 га при обработке почвы почвообрабатывающими машинами с армированными рабочими поверхностями.

Если  $c_2$  (руб/л) – стоимость литра горючего, то в денежном выражении (в рублях) этот перерасход составит

$$\Delta a = c_2 \cdot \Delta Q = \frac{c_2 \lambda}{2} (\Delta Q)_0 \quad (56)$$

Далее, пусть  $c$  (руб/га) – стоимость смазочных материалов, амортизации трактора, оплаты работы тракториста и другие накладные расходы при обработке 1 га пашни данной почвообрабатывающей машиной ( $c$  – затраты на обработку 1 га за вычетом стоимости топлива). Очевидно, что от того, армированы или не армированы деталями, эта величина практически не зависит. То есть

$$c_* = c, \text{ а значит } \Delta c = c_* - c = 0 \quad (57)$$

Теперь подсчитаем денежные затраты, связанные с армированием рабочей поверхности почвообрабатывающей машины. Пусть  $C$  (руб) – цена неармированной детали, а  $C_*$  (руб) – стоимость детали с учетом затрат на армирование. Тогда



$$q = \frac{Ц}{T}; \quad q_* = \frac{Ц_*}{T_*} \quad (58)$$

- соответственно стоимость детали не армированной и армированной, отнесенная к 1 га (рассчитанная на 1 га) обработанной им почвы. И эти стоимости не зависят, очевидно, от количества деталей в почвообрабатывающей машине. Уменьшение затрат на пахоту 1 га от использования более долговечных (армированных) деталей составит

$$\Delta q = q - q_* \quad (59)$$

Если  $r$  и  $r_*$  - общие (суммарные) денежные затраты на обработку 1 га, то их уменьшение  $\Pi$  составит

$$\Pi = r - r_* = \Delta q - \Delta a, \quad (60)$$

где  $\Delta a$  и  $\Delta q$  выражаются формулами (56) и (59).

Обозначим символом  $\mathcal{E}_\phi \%$  процентное уменьшение этих общих затрат:

$$\mathcal{E}_\phi \% = \frac{r - r_*}{r} \cdot 100\% = \frac{\Delta q - \Delta a}{r} \cdot 100\% \quad (61)$$

Параметр  $\mathcal{E}_\phi \%$  и определяет искомую экономическую эффективность армирования рабочих поверхностей деталей почвообрабатывающих машин.

Анализируя формулу (61), легко найти максимально возможное значение  $\mathcal{E}_\phi \%$ . Оно будет иметь место при  $\Delta a = 0$  (нет увеличения сопротивления почвообрабатывающей машины, а значит, нет увеличения расхода  $\Delta a$  горючего) и при  $\Delta q = q - q_* = q$  (то есть при  $q_* = 0$ , когда деталь после армирования ее рабочей поверхности становится вечной). Тогда:

$$(\mathcal{E}_\phi \%)_{\max} = \frac{q}{r} \cdot 100\% \quad (62)$$

В итоге исследований по оптимизации армирования получены зависимости, учитывающие повышенный расход топлива в период приработки армированной поверхности детали. Оценка эффективности проводилась по процентному уменьшению общих затрат. Затраты на расход топлива учтены отдельно ввиду их изменения в процессе эксплуатации.

## **Выводы**

В результате проведенных теоретических исследований получены следующие результаты:

1. Изнашивание валика приводит к уменьшению действующей на него силы давления частиц почвы, со стабилизацией при определенном износе. Величина износа неоднородна по его периметру - максимальный износ имеет место в области его стыка с рабочей поверхностью.

2. Увеличение скорости движения агрегата приводит к повышению давления почвы в области стыка валика с рабочей поверхностью и последующей его стабилизацией.

3. В процессе эксплуатации из-за износа валиков происходит падение и стабилизация результирующей силы давления частицы, а, следовательно, уменьшение тягового усилия.

4. Расход топлива у армированных деталей выше, чем у неармированных в начальный период их использования с последующим его выравниванием при определенной наработке.

5. Показана необходимость учета рельефа рабочей поверхности контакта детали с почвенной средой через коэффициент трения.

6. Получены зависимости, учитывающие повышенный расход топлива в период приработки армированной поверхности детали.

7. Оценка эффективности проводилась по процентному уменьшению общих затрат. Затраты на расход топлива учтены отдельно ввиду их изменения в процессе эксплуатации и высокой стоимости.

## **Литература**

1. Михальченков А.М., Тюрева А.А., Кожухова Н.Ю. Влияние изнашивающей способности почв на выбор технологии наплавочного армирования лемеха // Труды ГОСНИТИ. – 2011. – Т.107. №2. – С. 63-65.

2. Михальченков А.М., Кожухова Н.Ю., Будко С.И. О критериях предельного состояния плужных лемехов, эксплуатируемых на почвах Юго-Западного региона России // Достижения науки и техники АПК. – 2008. - №1. – С. 43-45.

3. Кожухова Н.Ю., Михальченкова М.А. Анализ дефектов восстановленных стрельчатых лап импортных посевных комплексов и их влияние на возможность повторного использования // Труды ГОСНИТИ. – 2014. – Т.114. №1. – С. 134-139.

4. Михальченков А.М., Жуков А.А., Михальченкова М.А. Технологические приемы армирования для повышения ресурса плужных лемехов // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2007. - №12. – С. 10-12.

5. Тюрёва А.А. Повышение долговечности плужных лемехов наплавочным армированием в условиях песчаных и супесчаных почв: дис. ... канд. техн. наук / – Брянск, 2008. – 149 с.

6. Кожухова Н.Ю. Наплавочное армирование рабочих органов почвообрабатывающих машин, эксплуатирующихся на тяжелых почвах (на примере плужных лемехов): дис. ... канд. техн. наук / – Брянск, 2011. – 179 с.

7. Михальченков А.М., Комогорцев В.Ф., Тюрёва А.А. Пути повышения износостойкости армированной поверхности лемеха // Тракторы и сельхозмашины. – 2010. - №7. – С. 35-37.

8. Михальченков А.М., Комогорцев В.Ф., Кожухова Н.Ю. Определение объема восстановления лемехов, эксплуатируемых на нечерноземах // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2008. - №9. – С. 35-38.

9. Михальченков А.М., Тюрёва А.А. Оптимизация технологии наплавочного армирования носка плужного лемеха // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2009. - №1. – С. 23-27.

10. Орлов Б. Н. Прогнозирование долговечности рабочих органов мелиоративных почвообрабатывающих машин: дисс. ... док. техн. Наук – М., 2004. – 348 с.

11. Гаель А.Г., Смирнова Л.Ф. Пески и песчаные почвы. – М.: ГЕОС, 1999. – 252 с.
12. Износ деталей сельскохозяйственных машин / М.М. Севернев, Г.П. Каплун, В.А. Короткевич [и др.]; под ред. М.М. Севернева. – Л.:Колос, 1972. –288 с.
13. Михальченков А.М., Тюрева А.А., Капошко Д.А. Изменение параметров износа плужных лемехов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - №6 – 2007. – С. 18-20.
14. Зангиев А.А., Шпилько А.В., Левшин А.Г. Эксплуатация машинно-тракторного парка – М.: КолосС, 2008. – 320 с.
15. Михальченков А. М, Капошко Д.А. Повышение ресурса лемехов плужных корпусов упрочнением их сварочным армированием // Ремонт, восстановление, модернизация. - № 7. – 2005. – С. 20 – 24.
16. Михальченков А.М., Капошко Д.А., Киселева Л.С. Влияние геометрических параметров выбракованных плужных лемехов на выбор технологии их восстановления. // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения, сб. науч. работ БГСХА. - 2004 г. - С. 170-175.
17. Михальченков А.М., Тюрева А.А., Михальченкова М.А. Повышение износостойкости плужных лемехов нанесением упрочняющих валиков в области наибольшего износа. // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2007. – №9. – С. 17-19.
18. Бирюлина Я.Ю. Устранение сквозных износов лап культиваторов «Моррис» клеополимерными композитами // Труды ГОСНИТИ . – 2015. – Т. 119. – С. 264-268.

ПРИМЕНЕНИЕ АБРАЗИВОСТОЙКИХ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ  
АРМИРОВАННЫХ ДИСПЕРСНЫМИ ЧАСТИЦАМИ ИЗ ПРИРОДНЫХ  
ПЕСКОВ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ  
(ОТВАЛЫ И КУЛЬТИВАТОРНЫЕ ЛАПЫ ДЛЯ ВЫСЕВА СЕМЯН)

*инженеры Бирюлина Я.Ю., Михальченкова М.А.  
ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, Россия.*

**Аннотация.** Разработан клееполимерный самоотвердеющий дисперсно-упрочненный абразивостойкий материал следующего состава: клеящая самоотвердеющая компонента на основе эпоксидной смолы ЭД 20 и полиэтиленполиамин – 40 частей; дисперсно-упрочняющая абразивостойкая компонента, кварцевый песок – 60 частей. При помощи этого композита созданы технологии восстановления деталей со сложной пространственной геометрией (отвалы и полые стойки культиваторных лап). Технологические процессы реализуются путем формирования покрытия на изношенных со сквозным протиранием локальных участках с заполнением полостей сложно-профильного износа по предварительно уложенной армирующей сетке путем нанесения разработанного композита. Способ позволяет сформировывать абразивостойкое покрытие с учетом кривизны поверхности, копируя ее профиль, а увеличение его качественных показателей и торможение протекания через сквозное протирание композита в жидкой фазе достигается приклеиванием армирующей сетки с размером ячейки не более 3мм. Применение нового композита для восстановления отвалов и культиваторных лап не требует дорогостоящих и дефицитных компонентов и может быть распространено на другие детали сложной геометрической формы. Разработанный абразивостойкий композит и предложенные технологии, позволяют проводить импортозамещение.

**Ключевые слова:** износ, абразивостойкость, эпоксидная композиция, дисперсные частицы, армирование, природные пески, восстановление, сложнопрофильные детали.

APPLICATION OF ABRASION RESISTANT EPOXY COMPOSITIONS  
REINFORCED WITH DISPERSED PARTICLES OF NATURAL SANDS FOR  
PARTS RECOVERY  
(BLADES AND CULTIVATOR FEET FOR PLANTING SEEDS)

*engineers BiryulinaYa.Yu., Mihalchenkova M. A.  
Bryansk State Agrarian University, Russia.*

**Abstract.** Developed clearly self-hardening of dispersion-hardened abrasion resistant material of the following composition: component self-hardening adhesive based on epoxy resin ED-20 and the polyamine – 40 parts; dispersion-hardening abrasion resistant component, quartz sand – 60 parts. Using this composite created technologies of restoration of parts with complex spatial geometry (piles and hollow rack of hoes). Technological processes are realized by forming a coating on worn through wiping local sites with the filling of cavities hard-core wear and tear on pre-laid reinforcing mesh by applying the developed composite. The method allows to form an abrasion resistant coating with regard to the curvature of the surface, copying the profile and increase its quality indicators and braking flow through the wiping of the composite in the liquid phase is achieved by attaching a reinforcing mesh with a cell size of not more than 3mm. the Application of a new composite for the restoration of dumps and hoes does not require expensive and scarce components and can be extended to other parts of complex geometrical form. Developed abrasion resistant composite and the offered technologies allow the substitution.

**Keywords:** wear, abrasion resistance, epoxy composition, dispersed particles, reinforcement, natural Sands, the recovery of complex-shaped parts.

## **Введение, анализ технологий, задачи**

Как известно, одними из наиболее распространенных деталей являются отвалы и стрелчатые лапы культиваторов. К сожалению, вопросы восстановления этих изделий требуют самого серьезного внимания, так как в известной литературе [1,2,3,4,12,13] сведений недостаточно. В связи с этим материалы статьи рассматривают нетрадиционные вещество и метод, позволяющие устранять дефекты на сложнопрофильных поверхностях, повышая при этом износостойкость восстановленной области.

Постановка задач исследований будет производится отдельно – для отвалов и для культиваторных лап.

### *Отвалы*

Из практики эксплуатации отвалов, плужных корпусов известно, что они приобретают дефекты, выражающиеся в местном (локальном) износе рабочей поверхности груди, нередко сопровождающегося сквозным протиранием. Оставшаяся большая часть детали функциональна поэтому возобновление ресурса отвалов целесообразно. Кроме этого высокая цена реализации отвала (отечественного производства не менее 1200 рублей, импортного - 5000) так же диктует необходимость их восстановления. Немаловажное значение в этом случае имеет вопрос импортозамещения.

Известные способы реставрации, когда используется компенсирующий элемент, из термоупрочненной стали, копирующий профиль отвала [2,3] обеспечивают увеличение долговечности детали, однако размеры вставки каждый раз регламентируются максимальными геометрическими параметрами изношенного участка и кривизной восстанавливаемой детали, сдерживая широкое внедрение этих способов. Наряду с этим рекомендуемая твердость стальной вставки 60 HRC нецелесообразна, т.к. превышение 53-54 HRC не приводит к увеличению стойкости к абразивному изнашиванию, но способствует снижению ударной вязкости.

Определенное распространение получили методы восстановления изделий с подобными дефектами применением самотвердеющих клеевых полимерных составов.

Как правило использование этих методов ограничивается заделкой трещин и пробоев небольших размеров на поверхностях деталей не подвергающихся абразивному изнашиванию и не испытующих значительных внешних силовых нагрузений [4,5].

Указанные отрицательные факторы могут быть устранены применением клеуполимерных композитов с абразивостойким наполнителем. Такой материал, находясь в жидком состоянии может скопировать профиль поверхности, устраняя износы и сквозные протирания. В затвердевшем состоянии он оказывает сопротивление абразивному изнашиванию при контактировании рабочей поверхности отвала с почвой.

Поэтому задачей в данном случае является разработка технологии заделки сквозных протираний в отвалах с увеличением их износостойкости.

#### *Стрельчатые лапы культиваторов посевного комплекса « Моррис »*

Из литературных источников [6] и опыта эксплуатации культиваторных лап, используемых для посева семян (например, производства фирмы «Моррис»), известно, что они приобретают дефект, не характерный для отечественных деталей и выражающийся в износе рабочей поверхности крепежных элементов (стоек). В большинстве случаев подобный износ сопровождается образованием сквозных протираний, делая деталь не пригодной для выполнения функции посевающего элемента.

Нужно отметить, что лапы такой конструкции не производятся сельхозмашиностроением России. Данные изделия сравнительно дороги (рыночная цена достигает до 800 рублей) и дефицитны. Вопрос дефицитности особенно актуален в связи с введенными против России санкциями. Между тем, оставшаяся часть утратившей эксплуатационные свойства детали как по прочностным показателям, так и с точки зрения



возможности проведения технологических операций пригодна для возобновления ресурса лапы.

Существующие процессы восстановления стрелчатых лап сводятся к двум способам, позволяющим только устранять износ рабочей области. Первый – наплавка запаса металла электродуговым методом и последующее горячее пластическое деформирование путем оттяжки лезвийной части с термоупрочнением [7]. Второй – крепление к сохранившейся части детали элементов, компенсирующих лезвийную истертую область [8]. Причем крепление может производиться с помощью резьбовых соединений или сваркой. Оба метода не предусматривают заделку сквозных протираний стоек, т.к. разрабатывались для лап производства отечественного сельхозмашиностроения, где крепежная часть изготовлена цельнометаллической.

Использование наплавочных (сварочных) технологий в данном случае весьма ограничено, если вообще возможно, по причине малой толщины изношенной области (менее 1,0 мм) и значительной площади протирания. Однако в практике известны случаи применения наплавки по предварительно уложенным электродам.

Широко распространенные технологии заделки трещин [9], основанные на применении эпоксидных компаундов, не могут быть применены в данном случае по причине низкой стойкости сформированного покрытия к воздействию абразивной среды.

Поэтому поставлена задача найти приемлемый, с точки зрения технологических возможностей, относительно недорогой и легко реализуемый способ устранения сквозного протирания и торможения процесса изнашивания стойки, базирующийся на клеополимерных веществах и обеспечивающий высокие свойства по стойкости к абразивному изнашиванию.

## **Разработка состава абразивостойкой эпоксидной композиции армированной дисперсными частицами из природных песков**

Композит разработан и апробирован сотрудниками ГОСНИТИ и Брянской ГСХА. Материал представляет собой песчано-клеевой состав на основе эпоксидной смолы и природного кварцевого песка в процентном соотношении 40 и 60 соответственно. Полимер-клеевая компонента композита включает эпоксидную смолу ЭД20 - 10 весовых частей и полиэтиленполиамин (отвердитель) 1 весовая часть [10].

Использование клеевой компоненты в композиции обеспечивает необходимую адгезию сформированного покрытия к материалу ремонтируемой детали. Наличие в композите 40 частей клеевой эпоксидной составляющей позволяет достигнуть необходимой прочности сцепления в системе «покрытие – поверхность для детали». Увеличение количества клеящей массы приводит к росту адгезии, но снижает противобразивные свойства.

Клеевая составляющая связывает частицы наполнителя в единую систему (материал) обеспечивая внутреннюю (собственную) адгезию фракций песка с полимером. Присутствие кварцевого песка природного происхождения в составе композита придает ему противобразивные свойства из-за значительной абразивности кварцевых частиц. В таком материале высокая абразивность песка выполняет положительные функции с точки зрения снижения интенсивности изнашивания покрытия. Кроме того частицы песка выступают в роли дисперсно-упрочняющей фазы, придавая образованному веществу свойства, отличающие композиты от других материалов. Немаловажным в применении природного песка является и экономический фактор – созданный композит по своей цене реализации будет не значительно выше, чем рыночная стоимость эпоксидного состава.

## Технологии устранения и предупреждения износов в виде сквозных протираний у отвалов и культиваторных стрелчатых лап

### Отвалы

В общем виде технология устранения износа со сквозным протиранием (рисунок 1а) и повышения абразивостойкости восстановленного участка рабочей поверхности отвала, без нарушения целостности детали состоит в следующем.

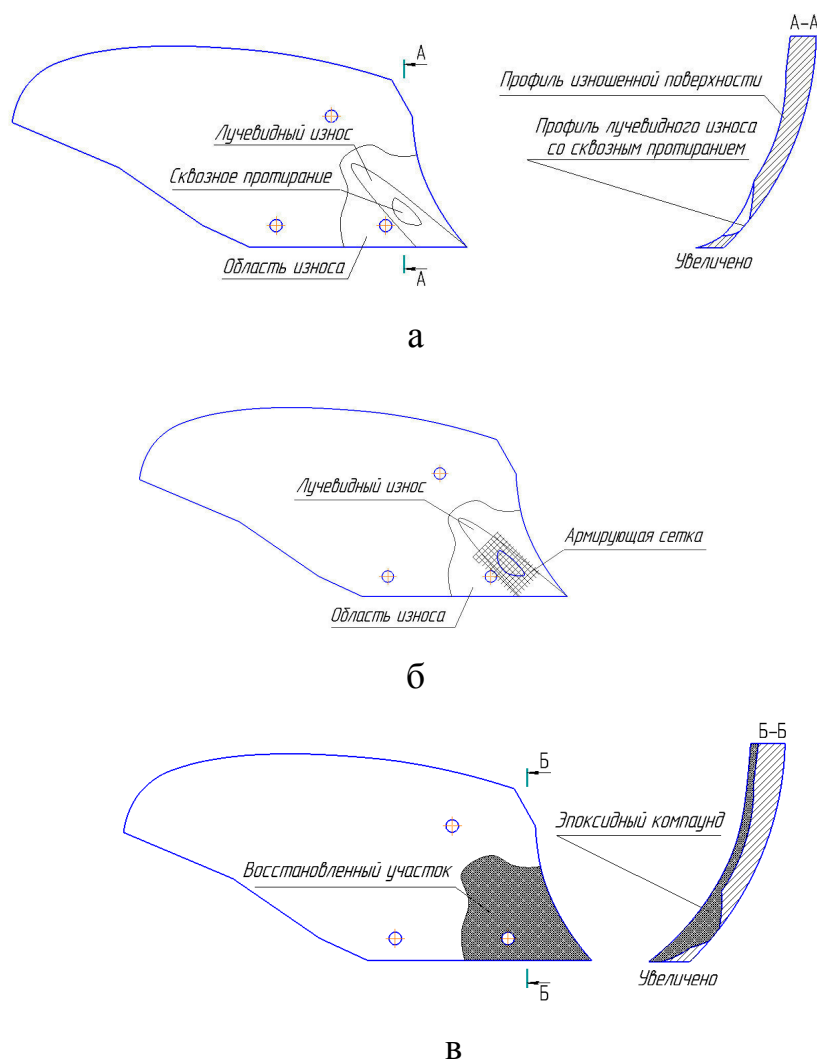


Рисунок 1 – Схема восстановления отвала плужного корпуса (а – отвал с предельным износом и сквозным протиранием; б – подготовленный к восстановлению отвал; в – отвал с устраненным дефектом)

Нанесение абразивостойкого клеополимерного дисперсно-упрочненного композиционного материала на предварительно

подготовленную предельно изношенную со сквозным протиранием область с охватом несколько большего периметра расположения дефекта.

Перед нанесением композита на предварительно очищенную до металлического блеска и обезжиренную поверхность с наличием дефектов укладывается армирующая строительная лента.

Подготовка поверхности под нанесение состава заключается в удалении естественных и искусственных загрязнений (методы могут быть различными) и последующей обработки растворителем (уайт-спиритом или ацетоном). При наличии высоких эксплуатационных нагрузок, создающих значительные сдвиговые напряжения на границе покрытие «рабочая поверхность», рекомендуется в области восстановления выбирать пазы глубиной 1,5 - 2 мм, шириной 2 - 2,5 мм с шагом 20 - 30 мм перпендикулярно действию результирующей силы от перемещения почвы. Пазы обеспечивают увеличение прочности сцепления состава с материалом детали. (Проведение такой операции на всей поверхности восстановления не всегда представляется возможным из-за большого значения износа по толщине детали). Некоторые исследователи рекомендуют перед нанесением покрытия применять наплавку на поверхность армирующих валиков [11], которые выполняют роль упоров при силовых воздействиях со стороны почвы.

Армирующая лента приклеивается в зоне сквозного протирания с охватом большего по размерам периметра (рисунок 1б). Лента должна обладать клеящими свойствами и иметь размер ячейки не более 3мм, тормозящий протекание композита в жидкой фазе. Такое торможение способствует покрытию сформироваться на восстанавливаемом участке без существенных протеканий через сквозное отверстие. Наряду с торможением истечения композита пленка способствует его затвердеванию и выполняет функцию армирования, увеличивая стойкость покрытия к ударным воздействиям. Наличие сетки также повышает прочность сцепления покрытия с восстанавливаемой поверхностью и способствует равномерному

распределению полимерного композита по криволинейной поверхности отвала.

В случае чрезмерно больших размеров сквозных протираний с обратной стороны детали временно крепится профильная пластина устраняющая возможность протеканий и не обладающая адгезией к композиту. После затвердевания композита пластина удаляется.

Образующиеся незначительные затвердевания на обратной стороне легко устраняются механическим путем.

Процесс реализуется, когда отвал располагается в горизонтальном положении. Клеевой композит наносится равномерно шпателем по всей площади восстановления с выходом за ее пределы (рисунок 1в).

Способ при определенных технологических изменениях может использоваться для устранения дефектов в виде износов и сквозных протираний поверхности других деталей, имеющих криволинейные рабочие поверхности, и эксплуатирующихся в условиях абразивного изнашивания. Кроме этого реализация способа не сопровождается нарушением целостности детали и не требует механической обработки сформированной поверхности. Отмеченное говорит о широких технологических возможностях использования разработанного абразивостойкого клеуполимерного дисперсно-упрочненного композита на основе эпоксидного состава.

При этом сохраняются механические свойства и форма восстанавливаемой детали, так как отсутствуют какие либо термические и деформационные воздействия в период формирования покрытия.

Таким образом в основу способа заложены следующие факторы:

Первое – использование абразивостойкого клеуполимерного дисперсного материала, содержащего 40 частей эпоксидного состава (клеевой компонент) и 60 частей природного песка (противоабразивный компонент);

Второе – композит наносится на криволинейную поверхность по предварительно уложенной армирующей сетке с заполнением полостей износа сложной формы;

Третье – после восстановления не нарушается целостность детали, и не требуется механической обработки не до ни после нанесения покрытия, и остаются неизменными свойства и геометрия детали.

Технологический процесс восстановления реализовывался на дефектных культурных отвалах, имеющих лучевидный износ и сквозное протирание (рисунок 2а,б,в,г) плугов отечественного производства,

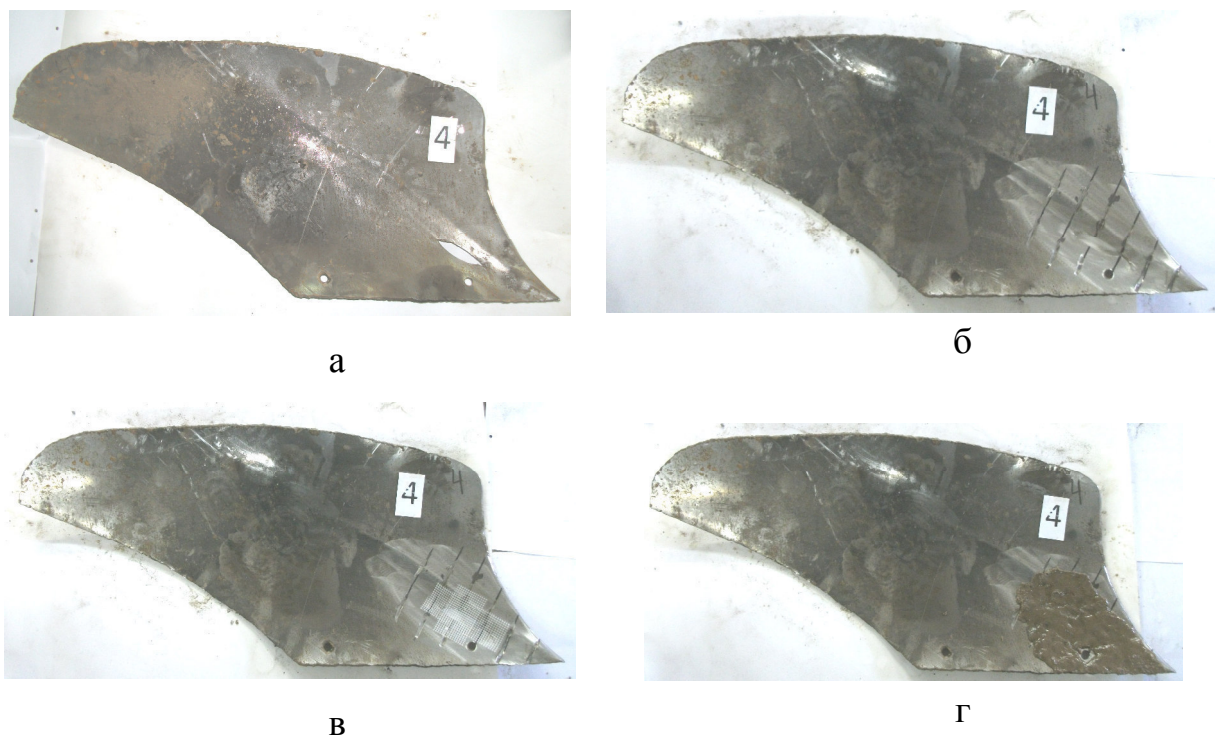


Рисунок 2 – Реализация технологического процесса на культурных отвалах сельскохозяйственного назначения отечественного изготовления (отвал: а – с износом рабочей поверхности и сквозным протиранием с удаленными загрязнениями; б – с выбранными пазами; в – с наложенной армирующей сеткой; г – после восстановления)

Технологический процесс состоит из следующих операций:

первая – удаление загрязнений с восстанавливаемой поверхности, зачистка ее до металлического блеска (рисунок 2а);

вторая – выбирание пазов в области износа и удаление следов механической обработки сжатым воздухом, (рисунок 2б);

третье – обработка растворителем площади для нанесения композита и наклеивание армирующей сетки (рисунок 2в);

четвертая – подготовка композита с эпоксидной клеящей компонентой – 40 частей и наполнителем, кварцевым песком – 60 частей;

пятая – непосредственно нанесение композита производится на площади большей площади износа (рисунок 2г). После обработки растворителем операция нанесения должна производиться не более чем через 30 минут во избежание образования на поверхности адсорбционных слоев;

шестая – сушка или отверждение в естественных или созданных условиях.

Полевые испытания восстановленных отвалов по описанному способу показали, что их наработка до предельного состояния не уступает аналогичному показателю отвала в заводском исполнении.

#### *Стрельчатые лапы культиватора посевного комплекса «Моррис»*

Технология отличается от предыдущей незначительно и учитывает специфику конструкции лапы и ее функциональное назначение.

Решение задачи реализуется раскрытием двух факторов:

1- применение клеэполимерного абразивостойкого композита с высокими адгезионными свойствами к материалу культиваторной лапы (сталь);

2- разработка технологии нанесения полимерного покрытия для устранения износа и заделки сквозного протирания.

Технология устранения износа со сквозным протиранием и повышения абразивостойкости восстановленного участка поверхности стойки лапы состоит в нанесении абразивостойкого клеэполимерного дисперсно-упрочненного композиционного материала на предварительно

подготовленный дефектный со сквозным протиранием участок с охватом несколько большего его периметра. Увеличение площади покрытия обеспечивает нужную прочность сцепления системы «полимер-подложка».

Перед нанесением композита на предварительно очищенную до металлического блеска и обезжиренную поверхность укладывается (приклеивается) армирующая строительная лента. (Она изначально обладает клеящими свойствами).

С поверхности под покрытие предварительно удаляются естественные и искусственные загрязнения, и после этого она обрабатывается растворителем (уайт-спиритом или ацетоном). Рекомендуется удалять пылевые остатки после механической очистки, например сжатым воздухом.

Армирующая лента приклеивается в два слоя с пересечением ячеек. Наличие двух слоев не дает возможности просачивания композита в жидкой фазе, что способствует покрытию сформироваться на восстанавливаемом участке без существенных протеканий через сквозное отверстие. Лента должна иметь размер стороны ячейки не более 3мм. Пересечение линий ячеек при наличии двух слоев ленты позволит уменьшить её сторону фактически в два раза. Присутствие ленты способствует затвердеванию материала и выполняет функцию армирования, увеличивая стойкость покрытия к ударным воздействиям, повышает прочность сцепления покрытия с восстанавливаемой поверхностью и способствует равномерному распределению полимерного композита по криволинейной поверхности стойки.

Особо следует отметить, что реализация способа не сопровождается нарушением целостности детали и не требует механической обработки сформированной поверхности.

При этом сохраняются механические свойства и форма восстанавливаемой детали, так как отсутствуют какие либо термические и деформационные воздействия в период формирования покрытия.



Подобный способ имеет широкие технологические возможности использования разработанного абразивостойкого клеполимерного дисперсно-упрочненного композита на основе эпоксидного состава.



а

б

в

Рисунок 3 – Реализация технологического процесса на культиваторных лапах фирмы «Моррис» (лапа: а – с износом рабочей поверхности и сквозным протираем с удаленными загрязнениями; б – с наложенной в два слоя армирующей лентой; в – после восстановления)

Процесс восстановления состоит из следующих операций:

(технология демонстрируется на примере лапы для посева по подготовленной почве посевного комплекса «Моррис» после устранения износа рабочей части)

первая – удаление загрязнений с восстанавливаемой поверхности, зачистка ее до металлического блеска, удаление следов механической обработки сжатым воздухом (рисунок 3а);

вторая – обработка растворителем площади для нанесения композита и наклеивание армирующей ленты в два слоя (рисунок 3б);

третья – подготовка композита с эпоксидной клеящей компонентой – 40 частей и наполнителем, кварцевым песком – 60 частей;

четвертая – непосредственно нанесение композита на площади большей площади износа (рисунок 3в). После обработки растворителем операция нанесения должна производиться не более чем через 30 минут во избежание образования на поверхности адсорбционных слоев;

пятая – сушка или отверждение в естественных или созданных условиях.

Полевые испытания восстановленных лап позволили установить, что их наработка до предельного состояния не уступает аналогичному показателю лап в заводском исполнении. Опыт их эксплуатации показывает, что для увеличения долговечности следует наносить покрытие на вероятный участок появления протирания, до начала её использования.

Таким образом, разработан способ восстановления лап формированием покрытия на изношенном со сквозным протиранием локальном участке путем нанесения клеполимерного самотвердеющего дисперсно-упрочненного композиционного абразивостойкого материала следующего состава: клеящая самотвердеющая компонента на основе эпоксидной смолы ЭД20 и полиэтиленполиамин – 40 частей; дисперсно-упрочняющая абразивостойкая компонента, кварцевый песок – 60 частей, использование армирующей ленты в два слоя позволяет избежать протекания композита в жидкой фазе и улучшает свойства покрытия.

Применение композита для восстановления не требует дорогостоящих и дефицитных компонентов и позволяет проводить импортозамещение.

## **Выводы**

1. В качестве материала покрытия используется разработанный авторами клеполимерный самотвердеющий дисперсно-упрочненный абразивостойкий материал следующего состава: клеящая самотвердеющая компонента на основе эпоксидной смолы ЭД 20 и полиэтиленполиамин – 40

частей; дисперсно-упрочняющая абразивостойкая компонента, кварцевый песок – 60 частей.

2. Разработан способ восстановления отвалов и полых стоек культиваторных лап, формированием покрытия на изношенном со сквозным протиранием локальном участке путем нанесения разработанного клеполимерного самотвердеющего дисперсно-упрочненного композиционного материала с заполнением полостей сложно-профильного износа по предварительно уложенной армирующей сетке.

3. Способ позволяет сформировывать абразивостойкое покрытие с учетом кривизны поверхности, копируя ее профиль, а увеличение его качественных показателей и торможение протекания через сквозное протирание композита в жидкой фазе достигается приклеиванием армирующей сетки с размером ячейки не более 3мм..

4. Применение нового композита для восстановления отвалов и культиваторных лап не требует дорогостоящих и дефицитных компонентов и может быть распространено на другие детали сложной геометрической формы.

5. Абразивостойкий композит и предложенные технологии, позволяют проводить импортозамещение.

#### Литература

1. Михальченков А.М., Прудников С.Н., Ковалев А.П. Износостойкость отвалов плугов после восстановления и упрочнения наплавочным армированием // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2011. – № 11. – С. 41-45.

2. Михальченков А.М. Плужный отвал повышенной долговечности и ремонтпригодности // Патент России № 2471324. 2011. Бюл. № 1.

3. Михальченков А.М., Прудников С.Н. Отвал корпуса плуга // Патент России № 92823. 2010. Бюл. № 10.

4. Львов Н.Н. Способ ремонта деталей с трещинами и пробоинами // Патент России № 2421314. 2011. Бюл. №17.
5. Кононенко А.С., Киселев Р.В. Восстановление радиаторов // Сельский механизатор. – 2004. – № 6. – С. 22.
6. Михальченков А.М., Феськов С.А. Изнашивание стрелчатых лап посевного комплекса «Моррис», восстановленных способом «термоупрочненных компенсирующих элементов». // Тракторы и сельхозмашины. – 2013, - №12, - С.50-52.
7. Михальченков А.М., Миненко А.А. Способ восстановления стрелчатых лап пропашных культиваторов почвообрабатывающих машин // Патент России № 2443523. 2010. Бюл. №6.
8. Михальченков А.М. Способ упрочняющего восстановления стрелчатых лап культиваторов различного назначения. // Патент России №2527558.2014. Бюл.№25.
9. Е. А. Пучин, В. С. Новиков, Н. А. Очковский и др.; Под ред. Е. А. Пучина. / Технология ремонта машин. — М.: КолосС, 2007. — 488 с.
10. <http://kleiexpert.ru/epoksidnyj-klej-instrukciya> (дата обращения: 09.12.2014).
11. Козарез И.В., Михальченков А.М., Ковалев А.П. Способ восстановления рабочей поверхности лемеха с лучевидным износом // Патент России № 2464146. 2012. Бил. № 29.
12. Михальченков А.М., Новиков А.А., Орехова Г.В. Повторная термообработка стали 60С2 после закалки в масле и среднего отпуска // Инновационные технологии и технические средства для АПК – матер. междунар. н-практ. конференции молодых ученых и специалистов. – 2014. С.- 143 – 145.
13. Михальченков А.М., Михальченкова М.А., Орехова Г.В. Изменение механических свойств абразивостойкой системы основной металл – двухслойное покрытие при наплавке порошковой проволокой с учетом

времени между нанесением слоев // Ремонт, восстановление, модернизация. -  
2015. - № 5. - С. 28-32.

УДК 631.3.004.

ВАРИАНТЫ И ФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ СПОСОБОВ УПРОЧНЕНИЯ  
ПЛУЖНЫХ ЛЕМЕХОВ НАПЛАВОЧНЫМ И ДРУГИМИ МЕТОДАМИ  
АРМИРОВАНИЯ

*д. т. н., профессор Михальченков А. М.*

*ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, Россия.*

**Аннотация.** Многолетний опыт и большое количество экспериментальных данных, полученных в лабораторных и полевых условиях, позволили автору и его школе начать и развить направление, получившее название «Повышение долговечности деталей почвообрабатывающих орудий упрочнением рабочих поверхностей армированием». По этому направлению получено более 30 патентов, из них 16 посвящены повышению стойкости к абразивному изнашиванию плужных лемехов отечественного и зарубежного производств. В представляемых материалах рассматривается только лишь небольшая часть той огромной работы, которая выполнена автором, аспирантами, соискателями и студентами. И эта работа посвящена рассмотрению практических вопросов, относящихся исключительно к повышению служебных свойств цельнометаллических лемехов производства Российской Федерации. Представляемый материал базируется, прежде всего, на изобретениях, подтвержденных патентами России. Большинство из способов и конструкций реализованы в металле и прошли полевые испытания. В результате рассмотрения патентов и ранее опубликованных статей дан подробный анализ существующих способов и вариантов армирования рабочих поверхностей плужных лемехов по их функциональному признаку. Отмечены их достоинства и имеющиеся недостатки. На основании этого выявлены и критически проанализированы вопросы, требующие продолжения исследований в аспекте повышения стойкости к абразивному

изнашиванию применением различного вида армирования. Это позволило наметить пути совершенствования методов армирования и возможности их использования применительно к другим деталям рабочих органов почвообрабатывающих орудий. Предложена классификация вариантов упрочняющего армирования поверхности лемехов, контактирующей с почвенной средой.

**Ключевые слова:** армирование, ресурс, износостойкость, почва, лемех, почвообрабатывающие орудия, рабочая поверхность, композитная поверхность, абразивная среда.

## VARIANTS AND FUNCTIONAL WAY TO PLOWSHARES SURFACING HARDENING AND OTHER METHODS OF REINFORCEMENT

*Doctor of Technical Sciences Professor Mihalchenkov A.M.*

*Bryansk State Agrarian University, Russia.*

**Annotation.** Years of experience and a large number of experimental data obtained in the laboratory and field conditions, allowed the author and his school to start and develop the area, called "Improving the durability of parts tillers hardening of working surfaces reinforcement." In this area received more than 30 patents, 16 of which are devoted to improve the resistance to abrasion plowshares domestic and foreign production. In the submissions considered only a small part of the great work that is performed by the author, graduate students, applicants and students. This work is devoted to the practical issues related exclusively to improving service properties of all-metal plowshares production of the Russian Federation. The presented material is based primarily on inventions, patents of Russia confirmed. Most of the methods and structures implemented in metal and field tested. As a result, consideration of patents and articles previously published a detailed analysis of existing methods and reinforcement work surfaces plowshares on their functional characteristics. Noting their advantages and

shortcomings. On the basis of identified and analyzed the critical issues that require further research in terms of increasing the resistance to abrasion using various types of reinforcement. This has allowed to identify ways to improve the methods of reinforcement and the possibility of their use in relation to other parts of the working tillers. Classification choices reinforcing reinforcement plowshares surface in contact with the soil environment.

**Keywords:** reinforcement, resource, wear resistance, soil, share, tillage equipment, the working surface, the composite surface, abrasive media.

### **Введение, постановка цели**

Армирование как метод улучшения свойств деталей и конструкций известен с давних времен [1]. Понятие «армирование» трактуется в известной литературе как усиление материала или конструкции элементами (арматурой из другого более прочного материала) [2]. Как правило, это понятие распространяется на увеличение прочностных показателей изделий, например всем известные железобетонные конструкции. Однако, исходя из лексического основания слово «армирование» можно понимать и как защиту объекта от внешних воздействий. (Армирование является производной от латинского Armo - вооружая, укрепляя). Поэтому определение армирование следует рассматривать, в частном случае, как создание на поверхности детали (тела) технологическими методами композиционной структуры, снижающей воздействие внешней среды в виде изнашивания. Тогда этот термин можно использовать в определении «наплавочное армирование» рабочих деталей почвообрабатывающих орудий [5,6].

Для увеличения наработки лемехов предложен способ наплавочного армирования их рабочей поверхности и разработана совокупность технологий базирующихся на данном способе [5,6,7]. Сущность метода заключается в наплавке на рабочую поверхность валиков с определенным шагом между ними перпендикулярно перемещению почвы [5,6]. Так как почвы отличаются многообразием своего строения, химического состава,



гранулометрии и других свойств, поэтому разработана достаточно большая гамма технологий, которые учитывают отмеченное выше [3,4] И все же применительно к плужным цельнометаллическим лемехам – нет общего подхода к анализу существующих разновидностей армирования [8,9,10]. Нужно сказать, что в разновидности армирования лемехов могут реализовываться, в зависимости от геометрии и специфики износа, а так же от изнашивающей способности почвы [11], в том числе и не связанными с наплавочными воздействиями. Ряд работ отмечает возможность применения армированных материалов при нанесении восстановительных и упрочняющих покрытий. При всем многообразии и разработанности вопроса до сих пор отсутствует классификация технологий (технологических вариантов) армирования.

Таким образом, целью изысканий является проведение анализа вариантов способов упрочнения плужных лемехов наплавочным и другими методами армирования, а так же разработка их классификации.

### **Решение цели**

#### *Методы наплавочного армирования*

Как известно при наваривании валика малоуглеродистым электродом на средне - и высокоуглеродистые стали вследствие высокой скорости его остывания происходят изменения в их строении, ведущие к образованию закалочных структур. Поэтому твердость валика и зоны термического влияния будут значительно выше твердости основного металла, что обеспечивает увеличение абразивной износостойкости. Кроме того, валики наносятся параллельно друг другу на расстоянии, которое определяется зонами термического влияния во избежание их перекрытия.

На этом принципе основано повышение ресурса лемехов плугов, изготовленных из среднеуглеродистых и высокоуглеродистых сталей. Оно достигается тем, что для наваривания используют малоуглеродистый электродный материал, который наплавляют на рабочую поверхность в виде

параллельных друг другу валиков 1 (рисунок 1), каждый последующий из которых наносят со скоростью, обеспечивающей образование закалочной структуры, после остывания предыдущего [12,13]. При наплавке следует обходить крепежные отверстия 2 (рисунок 1). Специально подобранный температурный режим процесса позволяет получить упрочненную поверхность детали, обеспечивающую повышенную износостойкость и следовательно увеличенный ресурс.

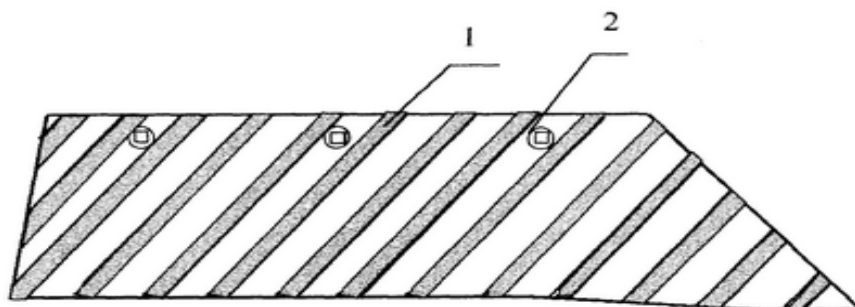


Рисунок 1 – Схема наплавочного армирования рабочей поверхности (на примере цельнометаллического лемеха отечественного производства)

Наряду с обеспечением структур повышенной твердости, валики из-за расположения их перпендикулярно перемещению почвы создают условия для снижения пути контактирования абразивных частиц почвы с рабочей поверхностью лемеха, тем самым способствуя сохранению размеров детали.

Технология наплавочного армирования всей поверхности контактирования осуществляется путем нанесения электродного металла в виде валиков на рабочую поверхность, при ширине наплавочного валика 3...4 мм с расстоянием между ними 30-40 мм. Наплавка выполнялась электродом Э46-МГ-ЭПС-4,0-УО с силой сварочного тока 140 А, постоянным током при прямой полярности (рисунок 1).

В ряде случаев необходимости в армировании всей рабочей поверхности лемеха нет, так как локальные износы, носящие предельный

характер, проявляются значительно раньше, чем происходит износ лемеха по ширине.

Из многолетнего опыта эксплуатации лемехов следует, что на упрочненной армированием области не исключено образование лучевидного износа, ограничивающего ресурс детали до 18 - 20 га [14, 15]. (Данные по наработке приводятся для легких суглинков). Особенно это проявляется при вспашке легких супесчаных почв.

В связи с этим повышение ресурса плужных лемехов производится периодической наплавкой армирующих валиков после истирания предыдущих. По своей сущности технологический процесс наплавочного армирования остается тем же, что и описанный выше. Данные операции повторяются до достижения лемехом толщины 4 - 5 мм, так как согласно агротехническим условиям такой размер является предельным и велика вероятность изгиба и разрушения детали.

Вследствие повторной, периодической наплавки армирующих валиков длительное время сохраняется пространственная геометрия лемеха, отвечающая нормативным условиям, а так же размеры, лимитирующие предельное состояние изделия. Кроме того, наплавленные валики будут способствовать росту жесткости лемеха, обеспечивая тем самым возможность пахоты на почвах с каменистыми включениями.

Нарботка на отказ в случае применения такого приема составила более 40 га при пахоте на супесях и легких суглинках.

Выше отмечалось, что при опережающем образовании лучевидного износа (а это характерно для почв с изнашивающей способностью превышающей 300 г/га) армировать всю контактирующую поверхность нет необходимости. Повышение ресурса в данном случае достигается при сварочном армировании непрерывной наплавкой области наиболее вероятного максимального износа (лучевидный износ) подковообразными валиками, имеющими форму полуэллипса 1 (рисунок 2), с последующим быстрым охлаждением носка лемеха в воде [16,17].

Электродный материал, нанесенный на «лодку» износа 1, позволит компенсировать потери металла в одной из наиболее изнашиваемых зон рабочей поверхности (рисунок 2), размеры которой зависят от гранулометрического состава почв.

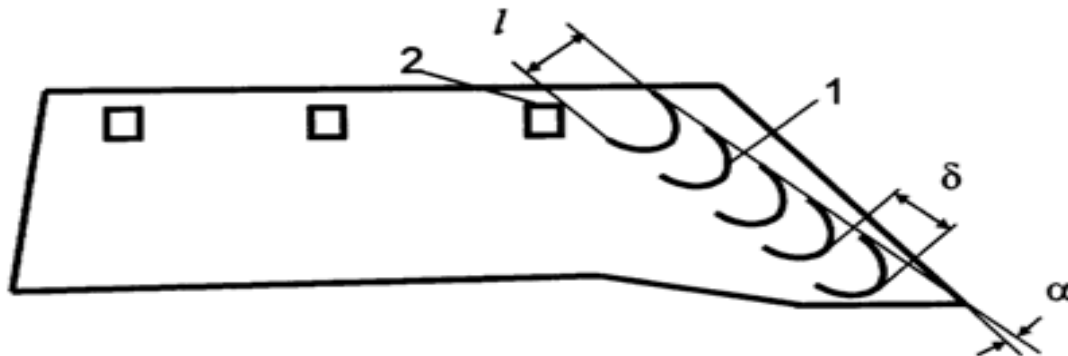


Рисунок 2 – Лемех с нанесенными в области наиболее вероятного износа «подковообразными» валиками

Применение охлаждения в воде непосредственно после наплавки валиков, вследствие термического воздействия на материал детали приведет к фазовым превращениям, позволяющим при быстром охлаждении получить в зоне носка закалочные структуры. В свою очередь это позволит значительно повысить твердость, а следовательно, и сопротивление абразивному изнашиванию. Наличие наплавленных валиков подковообразных или валиков, имеющих форму полуэллипса, увеличивает степень проскальзывания абразивных частиц по поверхности, приводящую к снижению коэффициента трения и снижающую путь их контакта с лемехом при работе, что также способствует повышению износостойкости.

Технология заключается в непрерывном нанесении валиков с последующем быстрым охлаждением в воде, что позволяет получить равномерное упрочнение всего носка лемеха и нанесенного электродного материала. Крепежное отверстие при наплавке необходимо обойти. Валики шириной (1) около 43 мм наваривают, начиная с носка лемеха вдоль его передней кромки под углом к обрезу носка  $\alpha \approx 10^\circ$  согласно схеме (рисунок 1). Величина 1 обусловлена поперечным размером лучевидного износа.

Расстояние между вершинами наплавленных валиков ( $\delta$ ) составляет около 30 мм, что соответствует величине зоны термического влияния. В качестве электродного материала может быть использован электродный материал любого состава, пригодный для сварки стали. Ширина наплавочного валика 3...4 мм. Наплавка выполняется электродом Э46А-УОНИ-13/45-4,0-У0 с силой сварочного тока 130 А, постоянным током обратной полярности [18,19].

При эксплуатации лемехов на песчаных почвах с каменистыми включениями и изнашивающей способностью более 300 г/га увеличение долговечности и снижение вероятности образования лучевидной формы износа достигается тем, что производится армирование наплавкой валиков в области носка лемеха, осуществляется заплата заглубляющей области на расстояние не менее 100 мм с последующим охлаждением в воде (рисунок 3) [30]. В результате удается предупредить появление лучевидной формы износа и повысить стойкость нижней части носка к абразивному изнашиванию и разрушению. Наплавка валиков производится электродами со стержнем из малоуглеродистой стали во избежание чрезмерного уровня остаточных напряжений и не нарушения принципа Шарпи. Заглубляющая часть и контур полевого обреза могут наплавляться твердосплавными материалами, тогда дополнительная термомообработки не требуется, но повышается вероятность образования трещин и даже изломов при эксплуатации. Наплавка же данной части электродами для сварки углеродистых сталей снижает подобную вероятность, однако требуется проводить дополнительную операцию в виде упрочняющей термообработки.

Наличие армирующих валиков в зоне наиболее вероятного износа и дополнительного металла на нижней части носка лемеха будет способствовать повышению прочности этого участка изделия а, проводимое охлаждение носка в воде непосредственно после его заправки увеличит твердость сформированного материала, а следовательно, и абразивную износостойкость.

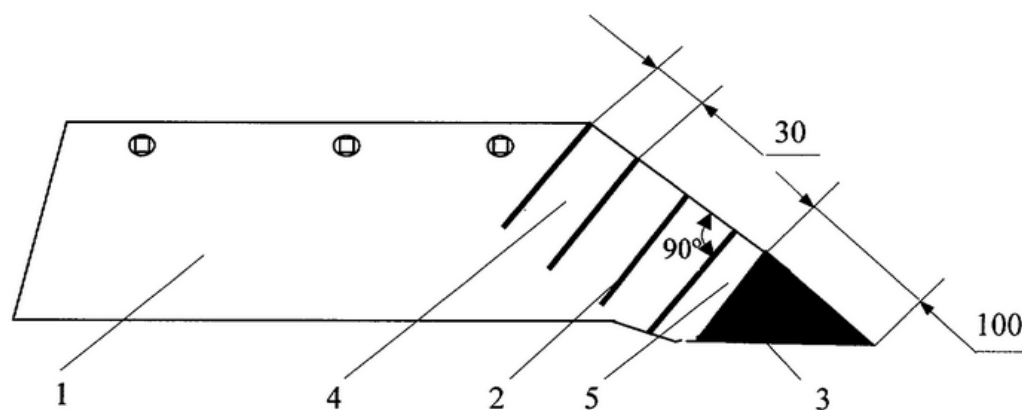


Рисунок 3 – Лемех, армированный в области носка с наплавленной заглубляющей частью (1 - рабочая поверхность, 2 - армирующие валики, 3 - наплавленный металл, 4 - область образования лучевидного износа, 5 - заглубляющая часть)

При эксплуатации данного лемеха на песчаных почвах с каменистыми включениями и изнашивающей способностью более 300 г/га, вследствие наличия армированной области и дополнительно закаленного металла в нижней части носка, ресурс до предельного состояния предлагаемого рабочего составляет около 16 га против наработки лемеха в состоянии поставки около 5 - 6 га.

Значительный интерес, как с научной, так и с практической точки зрения представляет разработка лемеха с созданием равноизнашиваемой поверхности с учетом интенсивности изнашивания в каждой отдельной области носовой части [27].

Указанное выше обеспечивается за счет повышения абразивной износостойкости лемеха, предупреждения износов полевого обреза и лезвия долота. Для этого производится наплавка рабочей поверхности по ее контуру вдоль полевого обреза и лезвийной части долота с проплавлением на глубину около 3-4 мм и шириной 7-8 мм. В качестве электродного материала

используется электрод, предназначенный для получения наплавленного металла высокой твердости, - около 60 HRC.

Заглубляющая часть наплавляется по всей поверхности на длину около 60-80 мм. Наплавка нижней части носка также осуществляется твердосплавными электродами с глубоким проплавлением. Оставшаяся область носка подвергается наплавочному армированию путем нанесения валиков перпендикулярно перемещению почвы в этой области. Ширина наносимых валиков 4-5 мм с расстоянием между ними (шагом) 30 мм. Наплавочное армирование, в отличие от заплавления контура полевого обреза, производится электродами для сварки и наплавки углеродистых сталей.

Наличие слоя наплавленного металла с твердостью примерно 60 HRC по периметру наружной носовой части с глубоким проплавлением позволит увеличить абразивную износостойкость в течение длительного времени за счет сохранения геометрической формы изделия.

Глубокое проплавление будет способствовать не только росту износостойкости, но и не окажет существенного влияния на тяговое сопротивление, так как возвышение валика над поверхностью лемеха будет минимальным.

Заплавленная нижняя часть с применением наплавочных материалов для износостойкой наплавки обеспечит снижение износа по толщине, что особенно важно, так как в данной области давление почвы максимально. При армировании верхней зоны необходимости в использовании твердосплавных электродов нет, так как давление почвы здесь не столь значительно, как в нижней части (рисунок 4).

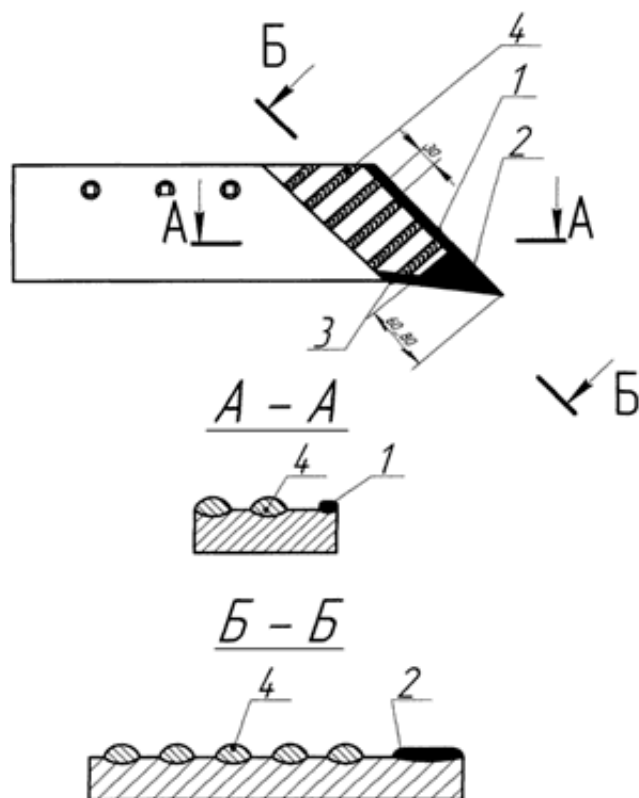


Рисунок 4 - Конструкция лемеха повышенной стойкости к абразивному изнашиванию, включающая следующие элементы (1 - наплавленный твердый слой вдоль полевого обреза, 2 - заплавленная твердым сплавом нижняя часть носка, 3 - наплавленный твердый сплав вдоль лезвия долота, 4 - армирующие валики)

Испытания предлагаемой конструкции лемеха в полевых условиях показали, что его наработка до предельного состояния превышает аналогичную наработку стандартного лемеха в 2,5-3 раза.

#### *Армирование точечным воздействием токов высокой силы*

Наряду с наплавочным армированием путем нанесения на рабочую поверхность валиков, повышение долговечности рабочих органов сельскохозяйственных машин может быть достигнута, за счет улучшения их прочностных характеристик и стойкости к абразивному изнашиванию. Такое увеличение производится путем кратковременного высокотемпературного воздействия большой силы тока на среднеуглеродистую и



высокоуглеродистую сталь. При этом происходят структурные изменения вследствие образования закалочных структур, а зона термического влияния (пятно контакта) приобретает твердость значительно выше, чем основной металл [20,21]. Пятна контакта наносятся как по линиям армирования (рисунок 5), на расстоянии, которое определяется зонами термического влияния, так и в шахматном порядке (рисунок 3).

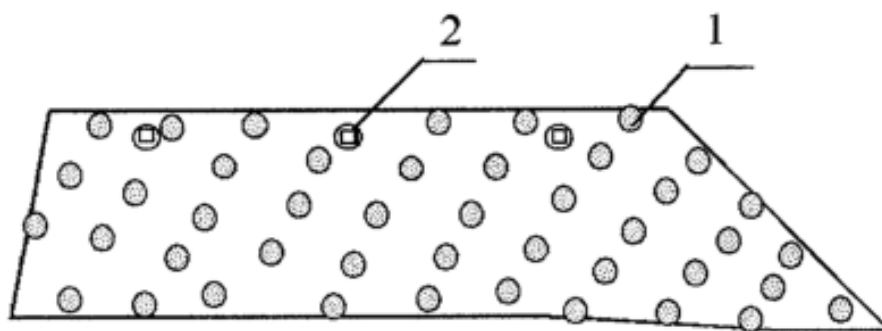


Рисунок 5 – Лемех, упрочненный армированием концентрированными потоками энергии с применением точечной сварки

Специально подобранный температурный режим процесса позволяет получить упрочненную поверхность детали. Это достигается применением электросварочной машины МТ-1614, выдающей силу тока до 16 кА (или другой марки машины точечной сварки).

Осуществление технологии реализуется путем упрочнения серийных цельнометаллических лемехов российского производства. Поверхность, контактирующая с почвенной средой, упрочняется электросварочным армированием путем нанесения пятен контакта диаметром 15 мм на расстоянии между ними 15...20 мм. Пятна наносились электросварочной машиной МТ-1614 с силой сварочного тока 16 кА.

Испытания, упрочненных таким образом деталей, проведенные в реальных условиях, показали увеличение ресурса в 1,6 – 1,9 раза. Однако, высокая степень залипания рабочей поверхности не позволяет рекомендовать

данную технологию для широкого внедрения из-за чрезмерно высокого расхода энергоносителей – дизельного топлива.

#### *Методы наплавочного армирования при восстановлении лемехов*

Наплавочное армирование находит широкое применение в виде дополнительной упрочняющей операции при восстановлении изношенных лемехов. Так, повышение их долговечности за счет восстановления и одновременного упрочнения достигается тем, что производится заправка лучевидного износа малоуглеродистым электродным материалом, после чего применяется оттяжка и осуществляется наваривание упрочняющих валиков на восстановленную поверхность [25]. Вследствие наплавки упрочняющих валиков в заплавленной области происходят термические процессы с образованием структурных составляющих, увеличивающих твердость восстановленной зоны, которая способствует повышению стойкости к абразивному изнашиванию. При этом сохраняется необходимая пластичность восстановленного участка.

Осуществление заявленного способа поясняется на примере восстановления изношенного серийного лемеха плуга марки П-702. Лучевидный износ в области полевого обреза устраняется его заправкой. Наплавка осуществляется малоуглеродистым электродом с диаметром стержня 4 мм (например, Э46-МГ-ЭПС-4,0-УО), сила сварочного тока составляет 140-160 А, скорость наплавки - 0,25 м/с при напряжении дуги 20-24 В. В качестве источника питания дуги могут быть использованы сварочные трансформаторы, генераторы и выпрямители. После этой операции производится: оттяжка носка за счет запаса металла с тыльной стороны кузнечным способом; остывание изделия до температуры окружающей среды и упрочняющая наплавка восстановленной области нанесением армирующих валиков (рисунок б), с аналогичными параметрами режима.

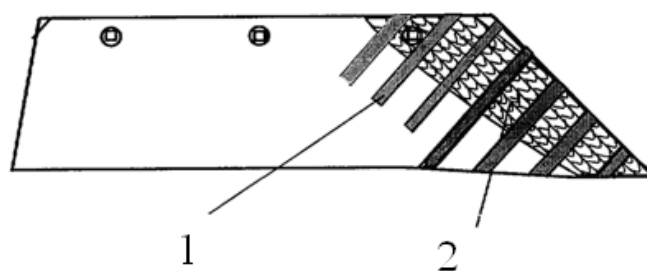


Рисунок 6 - Восстановленный и упрочненный лемех (1 - армирующие валики, 2 – наплавленная область)

Описанная технология позволяет восстанавливать фактически 75% лемехов, поступивших в ремонт. Нарботка на отказ, так же удовлетворяет нормативны требованиям и составляет 80-100% от лемехов в состоянии поставки. В то же время, процесс отличается чрезмерно высокой сложностью и не всегда приводит к положительным результатам, вследствие трудностей с соблюдением технологических параметров. Рекомендуется применять для хозяйств, которые имеют тяжелые суглинистые почвы и испытывают серьезные трудности финансового порядка.

В случае, когда определяющим является износ заглубляющей части нередко применяют способ описанный в [28]. Он отличается упрощенной технологией восстановления, уменьшением вероятности появления деформаций и изломов, возможностью восстановления лемехов с толщиной 5-6 мм. Повышение ресурса достигается тем, что осуществляют приваривание на изношенную рабочую поверхность передней части плужного лемеха накладного элемента и последующей наплавкой армирующих валиков в области образования лучевидного износа. В качестве накладного элемента используют предварительно заточенную стальную пластину толщиной, соответствующей толщине восстанавливаемой детали, но не более 6 мм, копирующую геометрическую форму долотообразного лемеха и вырезанную из упрочненной полосы вторичного сырья с повышенной твердостью. При этом ширина выступающей нижней части пластины соответствует ширине долота лемеха, приваривание осуществляют

при размещении нижнего края пластины параллельно лезвию лемеха, а передний край пластины при этом совмещают с контуром полевого обреза

Вырезка пластин производится из вторичного сырья, например из выбракованных полос рессор, прошедших упрочняющую обработку. Технологический процесс сводится к четырем операциям: вырезка накладных элементов, заточка, приваривание, наплавочное армирование. Применение данного метода приводит к увеличению жесткости носка, что, в свою очередь, снижает вероятность деформации заглабляющей части лемеха в процессе работы и дает возможность восстанавливать детали с толщиной 5-6 мм. Использование наплавочного армирования обеспечивает увеличение стойкости к образованию лучевидного износа, повышая тем самым ресурс детали.

Общий технологический процесс демонстрируется рисунком 7. К рабочей поверхности (1) передней части плужного лемеха сварочными электродами диаметром 4 мм марки Э46-МГ-ЭПС-4,4-УО с силой тока 140-160А приваривается стальная пластина (2) таким образом, чтобы ее передний край был совмещен с контуром полевого обреза (3). Вырезка пластины осуществляется из вторичного сырья - рессор автомобилей и телег, утративших упругие свойства, однако сохранивших значительную твердость, которая способствует повышению абразивной износостойкости. Сварные швы (4) накладываются в местах стыка и вдоль полевого обреза. Ширина выступающей нижней части (1) должна соответствовать ширине долота стандартного лемеха. Общая ширина дополнительного элемента определяется величиной износа либо шириной применяемой рессоры. Из практического опыта известно, что меньшая общая ширина обеспечивает сравнительно лучшее заглабление лемеха и снижает тяговое сопротивление агрегата. Длина пластины лимитируется величиной и формой износа носка лемеха. Наплавочное армирование (5) в области лучевидного износа (6) производится той же маркой электрода и с теми же параметрами режима. Расстояние между армирующими валиками составляет 30 мм.

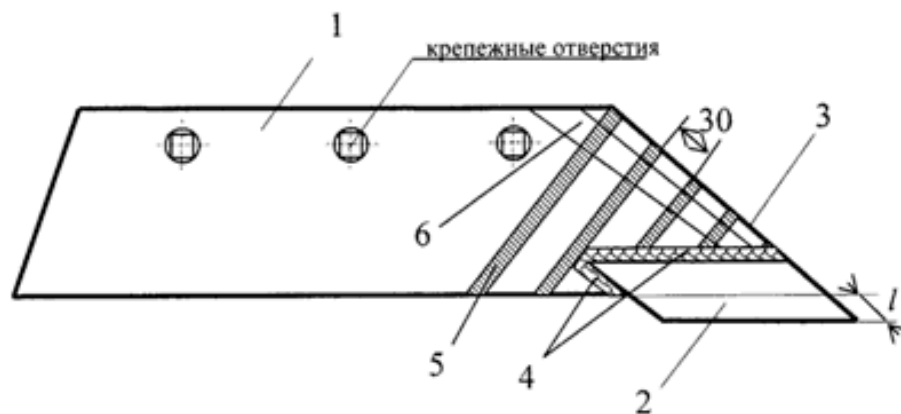


Рисунок 7 – Схема восстановления лемеха (1 - рабочая поверхность; 2 - приваренная стальная пластина; 3 - полевой обрез; 4 - сварные швы; 5 - армирующие валики; 6 - область лучевидного износа).

Полевые испытания показали обеспечение ресурса у восстановленных лемехов не менее 100% от деталей в заводском исполнении. Деформации и изломы составили не более 7- 10% от общего количества опытных изделий.

Метод безусловно прост и доступен в реализации фактически любому предприятию, имеющему минимальный набор ремонтного и слесарного оборудования. В тоже время, внесенные конструктивные изменения приводят к существенному увеличению тягового сопротивления и чрезмерно высокому расходу топлива, что и обусловило отказ от такого восстановления.

Совершенно иной подход к решению вопроса увеличения долговечности лемехов, лишенный отмеченных недостатков, предложен в работе [31]. Увеличение прочности и снижение интенсивности изнашивания, а так же уменьшение вероятности образования лучевидного износа в области носка лемеха производится введением в конструкцию стандартного лемеха дополнений. Носовая область, образованная привариванием к корпусу лемеха долота из стали повышенной твердости, упрочняется наплавочным армированием валиками, расположенными перпендикулярно к полевому обреза, и, следовательно, к сварному шву (рисунок 1). Расстояние между валиками составляет 30-40 мм. Такое расстояние обуславливается созданием

высокой твердости (до 55 HRC) в области, расположенной между армирующими валиками. В случае уменьшения или увеличения расстояния достичь указанной твердости не представляется возможным, тем самым способствуя снижению прочности, износостойкости и возрастанию вероятности образования лучевидного износа.

Конструкция предусматривает возможность повторного использования и после истирания долота путем его отрезания и приваривания нового с последующим армированием. Для увеличения ресурса лемеха возможно периодическое повторение армирования после изнашивания ранее нанесенных валиков.

На рисунке 8 представлена схема конструкции предлагаемого лемеха.

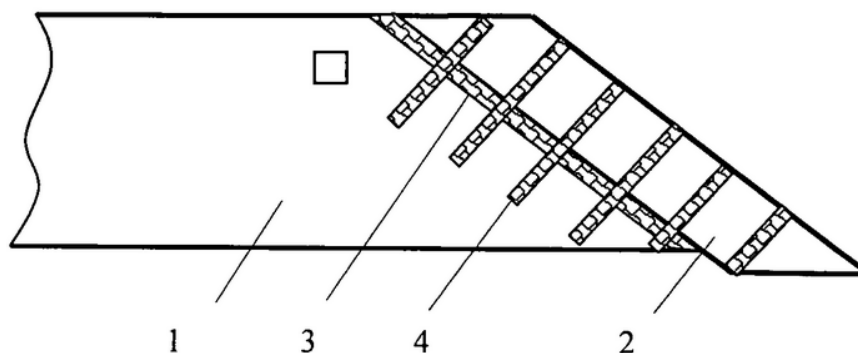


Рисунок 8 - Лемех с приваренным долотом и армированной носовой частью (1. рабочая поверхность, 2. долото, 3. сварной шов, 4. армирующие валики)

Результатом такого технологического приема является: увеличение прочности, снижение интенсивности изнашивания и уменьшение вероятности образования лучевидного износа в носовой части лемеха.

Эксплуатация лемехов, полученных привариванием к корпусу долота из стали повышенной твердости с последующим наплавочным армированием, позволила установить, что наработка лемехов новой конструкции до предельного состояния превысила аналогичный показатель у деталей в заводском исполнении в 1,6-1,9 раза. Изгибов и изломов в области

соединения долота с корпусом лемеха при этом не наблюдалось. Наплавка валиков осуществлялась электродами с малоуглеродистым стержнем силой.

Простота технологии, не требующая сложного оборудования и высокой квалификации исполнителей, сравнимое со стандартными лемехами тяговое сопротивление, значительный ресурс, использование вторичного сырья и ряд других положительных факторов обеспечили таким лемехам широкое внедрение. По мнению ряда ученых штамповарные лемехи имеют большое будущее, как с точки зрения конструкции так и при восстановлении и вполне могут заменить дорогостоящие импортные детали..

Среди способов устранения лучевидного износа, а он на некоторых почвах обеспечивает до 94% дефектных лемехов, выделяется способ [26], основанный на создании в области износа «каркаса» с полостями, которые забиваются в процессе обработки земли почвой, выполняющей функцию противобразивной компоненты. Подобный эффект достигается путем наплавки валиков в изношенной области перпендикулярно образующей геометрической формы износа. Валики наплавляются в виде ребер жесткости на определенном расстоянии друг от друга. Это расстояние определяется двумя факторами: обеспечением необходимой прочности восстановленной зоны за счет создания каркасной конструкции и возможностью залипания почвенной массы в образовавшихся полостях, что определяется ее гранулометрическим. Высота наплавляемых валиков лимитируется глубиной износа.

Наличие валиков в области износа, выполняющих роль ребер жесткости, создает условия для обеспечения надлежащей прочности при воздействии на деталь почвенной среды и тем самым снижая склонность восстановленного участка к разрушению. Образовавшиеся пустоты между наплавленными участками служат полостями, которые заполняются частицами почвы, выполняющие в данном случае роль антиабразивной среды и обеспечивающей высокую стойкость к изнашиванию. Такое строение восстановленного участка позволит избежать повышения тягового

сопротивления при использовании эффекта залипания, т. к. почва, находящаяся в полостях не будет выступать за пределы рабочей поверхности. Кроме того, вследствие процесса самоорганизации коэффициент трения будет достаточно низок. При этом не происходит нарушения геометрических параметров лемеха установленных техническими условиями и следовательно все агротехнические требования к вспашке полностью выполняются.

В этом случае образуется поверхность представляющая собой композитный материал, где роль основы выполняет материал лемеха, а функции абразивостойкой составляющей частицы грунта находящиеся в полостях. Причем композитная поверхность сочетает в себе определенную совокупность материалов, таких как дисперсные (почва) и волокнистые (почва с наплавленными валиками). В результате чего создаются условия для обеспечения необходимых прочностных свойств и повышения износостойкости. Данный способ обеспечивает снижение технологической сложности при его реализации и склонности к трещинообразованию. В этом случае в качестве антиабразивной составляющей используется также среда, которая подвергается обработке – почва.

Устранение износа осуществляется в 2 этапа (рисунок 9). Первый – производится очистка рабочей поверхности лемеха 1 в изношенной зоне 2, затем производится наплавка валиков 3 перпендикулярно оси износа с расстоянием между ними не более 20 – 30 мм. Валики не должны быть выше уровня поверхности. Наплавка осуществляется электродами для сварки углеродистых сталей диаметром 4 мм на рекомендованных сертификатом режимах. Второй – в процессе обработки почвы происходит заполнение полостей частицами почвы 4, выполняющей функции антиабразивной среды, что и обеспечивает повышение долговечности восстановленного лемеха.



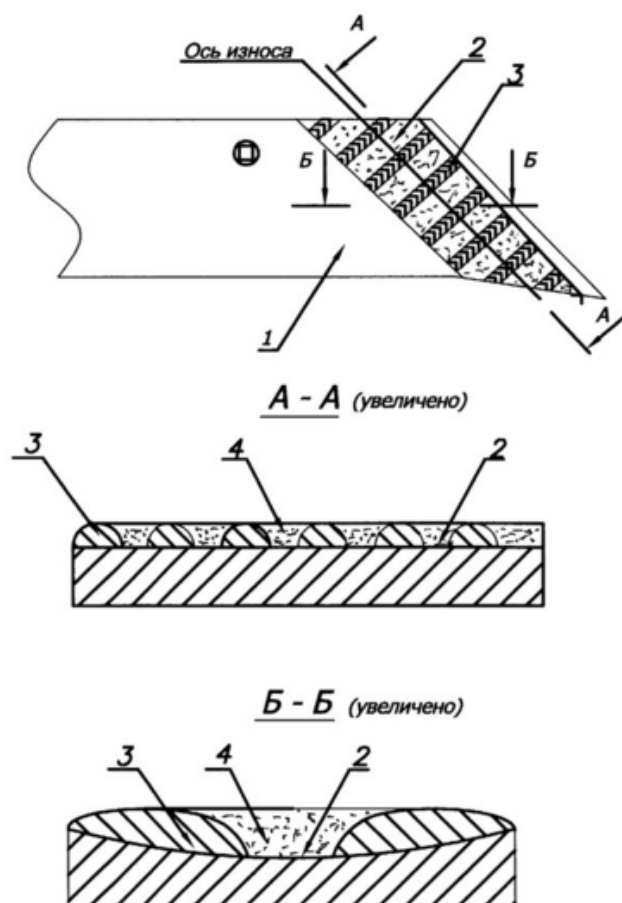


Рисунок 9 - Схема технологии восстановления с использованием армирования почвы в качестве противоабразивной составляющей (1 – рабочая поверхность лемеха; 2 – лучевидный износ с полуэллипсоидным профилем; 3 – наваренные валики; 4 – частицы почвы)

Судя по имеющимся публикациям способ весьма интересен и в практическом и в научном плане, однако его широкое применение требует дополнительных исследований.

Способ, разработанный в [29] можно отнести к комплексным в силу его особенностей. Повышение стойкости к абразивному изнашиванию восстановленных деталей, при обеспечении необходимой жесткости и прочности достигается путем наплавки на изношенную поверхность валиков с определенным расстоянием между ними. Наплавка производится электродами для сварки углеродистых сталей. Размеры наносимых валиков

(высота и ширина) выбираются исходя из величины и формы износа. На полученную таким образом поверхность (каркас) наносится клеевой компаунд, содержащий в своем составе кварцевый песок, создающий противобразивную среду [29]. Валики обеспечивают жесткость и прочность восстановленной области и создают условия для формирования износостойкого песчано-клеявого покрытия

Наплавленные на изношенную поверхность валики обеспечивают необходимую жесткость детали и являются упорными поверхностями при нанесении износостойкого компаунда. Применение электродов для сварки углеродистых сталей при наплавке валиков позволит избежать повышения склонности упрочняемой области к трещинообразованию и короблению. Наличие на изношенной области валиков способствует уменьшению склонности песчано-клеявой композиции к сдвигу, так как они играют роль упоров. Увеличение стойкости к абразивному изнашиванию достигается за счет наличия в клеевом компаунде большого количества кварцевого песка, обладающего высокой твердостью, сравнимой с твердостью почвы, что обеспечивает высокие абразивностойкие свойства полученного покрытия. Кроме того, клеевой состав выполняет функцию основы полученного клеесварного покрытия.

Устранение износа осуществляется следующим образом (рисунок 10): производится наваривание валиков 3 на величину износа 2 по высоте с образованием каркаса, а оставшуюся между ними область в зоне лучевидного износа заполняют песчано-клеявой абразивной композицией 4. Нанесение валиков позволяет восстановить жесткость детали 1 и ее прочность, избежать чрезмерных термических напряжений, минимизировать отрицательное влияние на механические свойства изделия в целом. Кроме того, валики выполняют роль стенок для формирования износостойкого клеевого состава при его отверждении и служат упорами в случае наличия при эксплуатации сдвигающих нагрузок. Высота и длина валиков регламентируются геометрией износа. Объем нанесения износостойкого состава также

определяется геометрическими параметрами изношенной области. В представленном способе валики обеспечивают жесткость детали и ее прочностные свойства, а песчано-клеевая композиция создает условия для повышения сопротивляемости абразивному изнашиванию. Режим наваривания: диаметр электрода 4 мм, сила сварочного тока 160-180 А, марка электрода Э42А-УОНИИ-13/45-3,0-УО, ток постоянный, полярность прямая.

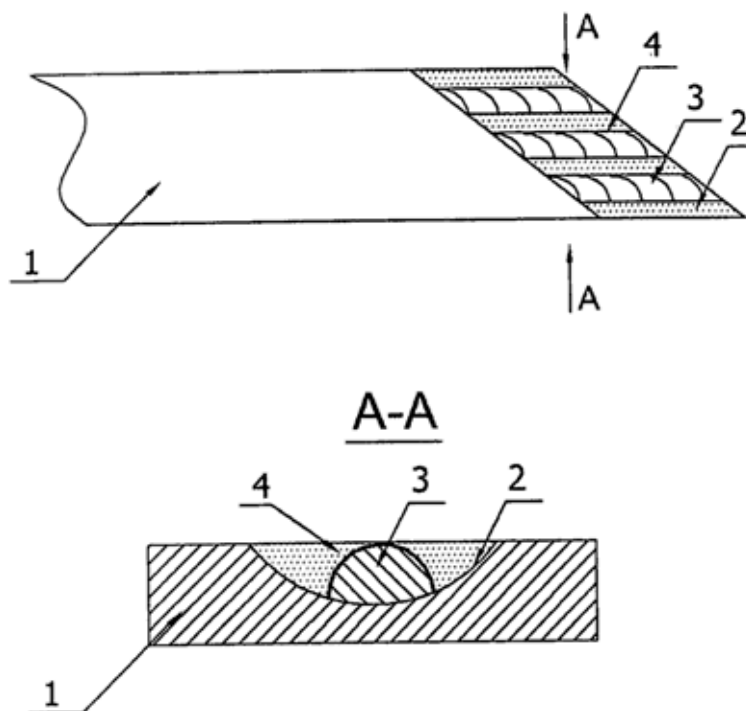


Рисунок 10 - Восстановленный лемех плужного корпуса (1 - рабочая поверхность лемеха, 2 - изношенный участок (лучевидный износ), 3 - наплавленные валики, 4 - песчано-клеевой состав.

Состав песчано-клеевой композиции: эпоксидный компаунд - 30%, кварцевый песок - 70%. Время отверждения - 24 часа при окружающей температуре.

Наработка до предельного состояния, как установлено при вспашке легких суглинистых почв, превышает аналогичный показатель лемехов заводского исполнения в 1,5- 1,8 раза. Тем не менее, технологическая

сложность реализации и недостаточное количество исследований не позволяют рекомендовать процесс восстановления к широкому внедрению.

#### *Нетрадиционные методы армирования*

Наряду с применением методов армирования, основанных на использовании наплавки известны способы, когда нанесение дополнительного металла заменяется нетрадиционными методами упрочнения путем создания композиционных поверхностей.

Одним из таких методов является использование потоков концентрированной энергии, выражающейся в электромеханической обработке (ЭМО). В этом случае повышение долговечности плужного лемеха осуществляется проведением электромеханической упрочняющей [23] обработки путем образования структур повышенной твердости на рабочих поверхностях деталей, наиболее подверженных изнашиванию, за счет создания композитной поверхности [24].

Упрочненные участки, нанесенные на поверхность под определенным углом к лезвийной части детали с определенным шагом и шириной, которые выбираются в зависимости от типа почв (гранулометрический состав), позволяют увеличить износостойкость рабочей поверхности плужного лемеха из-за повышения твердости этих участков.

Указанное достигается тем, что на наиболее подверженной изнашиванию рабочей поверхности плужного лемеха создают композитную абразивностойкую поверхность путем электромеханической обработки с формированием упрочненных участков шириной 3-4 мм и глубиной не менее 1,5-2 мм, микротвердостью  $H_m 650 \dots 710$  с шагом 20-30 мм под углом к лезвийной части лемеха.

Технология осуществляется за счет нескольких факторов. Обкатка рабочей поверхности производится роликовым инструментом с учетом ее кривизны. Упрочняющие участки (линии) следует наносить в направлении, перпендикулярном к направлению движения почвы. Шаг упрочняющих

участков должен составлять примерно 20-30 мм. Упрочняющее воздействие от электромеханической обработки должно составлять глубину не менее 1,5-2 мм в зависимости от толщины металла лемеха и типа почвы.

На рисунке 11 представлен лемех с композитной абразивностойкой поверхностью в зонах наиболее вероятного износа, где 1 - контактирующая поверхность лемеха; 2 - область вероятного износа; 3 - упрочненные ЭМО участки; 4 - структура высокой твердости; 5 - металлический сплав рабочего органа; 6 - строение композитного слоя. Штриховой линией показана характерная зона износа.

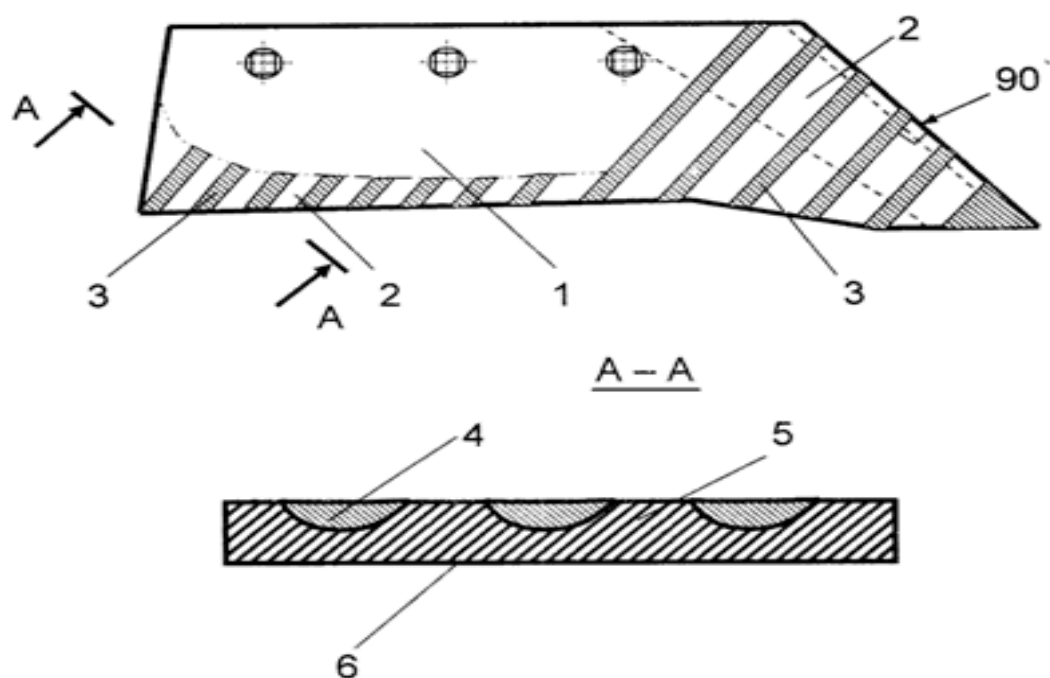


Рисунок 11 – Лемех, армированный применением электромеханической упрочняющей обработки

Накатывание износостойких участков высокой твердости осуществляется в областях наиболее подверженных изнашиванию (рисунок 11). Оборудование и технологические параметры упрочнения: вертикально-фрезерный станок 6Р12В, толщина ролика 3-4 мм, диаметр ролика 80 мм, сила тока 1000-1200 А, усилие на ролик 660 Н, скорость 165 м/мин, шаг между участками упрочнения 30-25 мм.

Сколь-нибудь достоверные сведения о ресурсе лемеха, подвергнутого армированию электромеханической обработкой, отсутствуют. Кроме этого, не является до конца выясненным вопрос о возможности использования методов пластического деформирования для повышения износостойкости контактирующих с абразивом поверхностей. По мнению [7], наклеп рабочей поверхности не сказывается на увеличении абразивной износостойкости. Для того, чтобы рекомендовать способ к внедрению предварительно необходимо решить поставленные выше вопросы.

При эксплуатации на почвах с повышенной изнашивающей способностью для увеличения абразивной износостойкости лемеха вводятся дополнительные конструктивные изменения. На его поверхности в области наиболее вероятного износа выбираются пазы, которые в период эксплуатации заполняются частицами почвы, выполняющие функции износостойкой среды [32]. Пазы формируются перпендикулярно движению почвы либо перпендикулярно полевому обрезу. Расстояние между ними и их ширина определяется гранулометрическим составом почвы; глубина пазов не должна превышать 6 мм. В результате таких конструктивных дополнений и изменений износостойкость деталей по сравнению с деталями в состоянии поставки повышается в 1,6-1,7 раза. Данные получены при испытаниях на песчаных и супесчаных почвах с изнашивающей способностью 100-300 г/га.

Реализация описанных выше конструкторских изменений показана на рисунке 12.

На таком же принципе (среда выполняет противоабразивные функции) основан способ разработанный авторами [33]. Повышение противоизносных функций рабочей поверхности конструктивного элемента рабочего органа, контактирующей с почвенной средой достигается тем, что на рабочей части изделия прорезаются пазы, которые в процессе эксплуатации заполняются почвой, выполняющей функцию противоабразивной составляющей [33,34]. При этом производят заправку заглубляющей части электродами для

износостойкой наплавки, обуславливаемой гранулометрическим составом почвы. Глубина пазов составляет 4-5 мм, что позволяет сохранить жесткость конструкции детали, а ширина пазов и шаг их расположения зависят от гранулометрического состава почв.

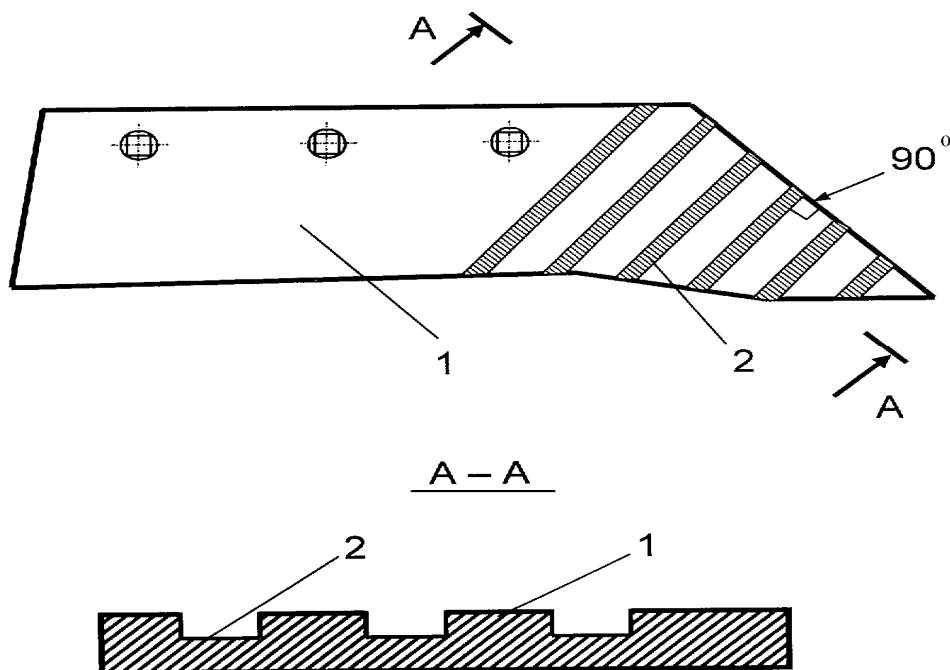


Рисунок 12 – Упрочнение лемехов с использованием почвы как противоабразивной среды (1 - рабочая поверхность, 2 - пазы на рабочей поверхности).

Почвенный состав, попадая в пазы в процессе эксплуатации машины, заполняет их пространство и выполняет противоизносные функции по отношению к почве т.к. по своим свойствам и составу одинаков с обрабатываемой средой, что приводит к росту стойкости к абразивному изнашиванию и обеспечивает совместимость поверхностей контактирования «деталь-почва». Заплавка заглубляющей части электродами, обеспечивающими высокую твердость поверхности, также способствует сопротивляемости изнашиванию, особенно в случае обработки почв с изнашивающей способностью более 100 г/га и наличием каменистых включений.

Повышение износостойкости достигается за счет наличия в пазах абразивных частиц почвы, выполняющих противоизносные функции по отношению к обрабатываемой среде. Кроме того, наличие на заглавливающей части наплавленного твердого слоя также способствует увеличению износостойкости изделий. Таким образом, предлагаемый способ соответствует критерию «новизна».

Способ поясняется на примере повышения износостойкости лемеха плуга отечественного производства (рисунок 13).

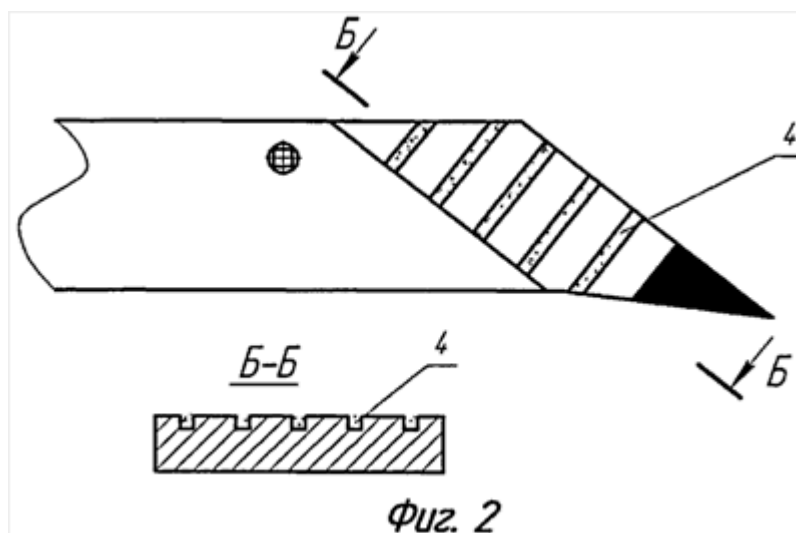


Рисунок 13 – Лемех с пазами, прорезанными в носовой части и с заглавленной заглавливающей частью (1 - рабочая поверхность носка лемеха; 2 - пазы; 3 - наплавленная поверхность; 4 – почвенная масса)

На рабочей поверхности области носка лемеха 1 прорезаются пазы 2 дисковой фрезой перпендикулярно полевому обрезу носка глубиной 4-5 мм и шириной 6 мм с расстоянием между ними 20-30 мм. Предварительно производится заправка носовой части 3 электродом для износостойкой наплавки Т-590, на расстоянии 45 мм. В период эксплуатации происходит заполнение пазов почвенной массой 4, обеспечивая тем самым увеличение противоизносных функций рабочей поверхности и повышение ее абразивной износостойкости.



Применение почвенной среды в качестве противоабразивной компоненты, несомненно, представляет большой научный интерес. Однако состояние исследований по данному направлению в настоящее время далеко от завершения, и поэтому рано делать какие-нибудь определенные заключения. И тем более рано говорить о практической пользе применения такого подхода к увеличению износостойкости и соответственно ресурса конкретных деталей.

### **Классификация способов армирования**

На основании проведенного анализа, предлагается классификация способов армирования, основанная на функциональном назначении, методах использования энергии и нетрадиционных подходах. Классификация представлена ниже в таблице.

Таблица 1 – Методы армирования плужных лемехов

Варианты упрочняющего поверхностного армирования плужных лемехов	Методы наплавочного армирования
	Армирование точечным воздействием токов высокой силы
	Методы наплавочного армирования при восстановлении лемехов
	Нетрадиционные методы армирования

### **Выводы**

1. Дан критический анализ существующих способов и вариантов армирования рабочих поверхностей плужных лемехов по их функциональному признаку.

2. Выявлены и рассмотрены вопросы, требующие продолжения исследований в аспекте повышения стойкости к абразивному изнашиванию применением различного вида армирования.

3. Предложена классификация вариантов упрочняющего армирования поверхности лемехов, контактирующей с почвенной средой.

#### Литература

1. <http://dic.academic.ru/dic.nsf/efremova> (дата обращения 19.11.2015)
2. <https://ru.wikipedia.org/wiki> (дата обращения 19.11.2015)
3. Сиухина, М.С. Почвоведение [Электронный ресурс]: учебное пособие. — Электрон. дан. — Новосибирск: НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет), 2009. — 111 с. — Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=4574](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=4574) — Загл. с экрана.
4. Глинка, К.Д. Почвоведение [Электронный ресурс] : монография. — Электрон. дан. — СПб.: Лань, 2014. — 720 с. — Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=52771](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=52771) — Загл. с экрана.
5. Тюрева А.А. Повышение долговечности плужных лемехов наплавочным армированием в условиях песчаных и супесчаных почв: дис. канд. технич. наук. – Брянск, 2008. – 149 с.
6. Кожухова Н.Ю. Наплавочное армирование рабочих органов почвообрабатывающих машин, эксплуатирующихся на тяжелых почвах (на примере плужных лемехов): дис. канд. технич. наук. – Брянск, 2011. – С.
7. Дудник В. В. Повышение долговечности плужных лемехов // Вестник Национального технического университета “ХПИ”: сб. науч. тр.: темат. вып. / Харьковский политехнический ин-т, нац. техн. ун-т. - 2011. - № 10. - С . 35-38.
8. Михальченков А.М., Тюрева А.А., Михальченкова М.А. Новые способы упрочнения плужных лемехов // Тракторы и сельхозмашины. – 2007. - №12. С. 39-40.
9. Михальченков А.М., Лялякин В.П., Кожухова Н.Ю., Горбачев Р.В. Возобновление ресурса лемехов // Сельский механизатор. – 2013. - №2 (48). С.34-35.

10. Михальченков А.М., Жуков А.А., Михальченкова М.А. Технологические приемы армирования для повышения ресурса плужных лемехов // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2007. - №12. – С.10-12.

11. Михальченков А.М., Ковалев А.П., Осипенко В.В. Использование самоорганизации изнашивания для увеличения ресурса плужных лемехов // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2012. - №9. – С.35-38.

12. Михальченков А. М., Ганеев Ю. М., Будко С. И., Капошко Д. А. Способ упрочнения лемехов плугов из среднеуглеродистых и высокоуглеродистых сталей // Патент России № 2274526. 2006. Бюл. №. 11.

13. Михальченков А. М., Тюрева А. А., Зуева Д. С. Лемех плуга для отвальной вспашки с рифленой поверхностью (Лемех Михальченкова А. М.) // Патент на полезную модель России № 90287. 2010. Бюл. № 1.

14. Михальченков А. М., Ковалев А. П., Козарез И. В. Геометрические параметры лучевидного износа лемехов // Тракторы и сельхозмашины. – 2011. - № 6. – С. 25 – 29.

15. Михальченков А.М., Козарез И.В., Михальченкова М. А. // Тракторы и сельхозмашины. – 2014. - № 7. – С. 39 – 43.

16. Михальченков А.М., Тюрева А.А., Козарез И.В., Михальченкова М. А. Способ повышения износостойкости плужных лемехов // Патент России № 2334384 Бюл. №27.

17. Михальченков А.М., Тюрева А.А. Лемех плуга повышенной стойкости к абразивному изнашиванию // Патент на полезную модель России № 128437. 2013. Бюл. № 15.

18. Михальченков А.М., Тюрева А.А., Михальченкова М.А. Новые способы упрочнения плужных лемехов // Тракторы и сельхозмашины. – 2007. - № 7. – С. 39 – 40.

19. Михальченков А.М., Жуков А.А., Михальченкова М. А. Технологические приемы армирования для повышения ресурса плужных лемехов // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2007. - № 12. – С. 10 -12.

20. Михальченков А.М., Ганеев Ю.М., Лямзин А.А., Будко С. И., Капошко Д.А. Способ упрочнения деталей из среднеуглеродистых и высокоуглеродистых сталей // Патент России № 2270259 Бюл. №5.

21. Банов М.Д. Технология и оборудование контактной сварки. — 4-е изд., стер. — М.: Издательский центр «Академия», 2009. — 224 с.

22. Ожегов Н.М., Капошко Д.А., Будко С.И. Повышение эффективности упрочнения деталей почвообрабатывающих машин методом дуговой наплавки твердыми сплавами / Ресурсосберегающие технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки от нано- до макроуровня // Материалы 11-й Международной научно-практической конференции. Часть I - СПб.: Изд-во Политехнического университета.

23. Ерохин М.Н. Новиков В. С. Повышение прочности и износостойкости лемеха плуга // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. – 2008. – №2.- С.10-22.

24. Михальченков А. М., Будко С. И., Федоров С. К., Паршиков П. А. Способ упрочнения рабочей поверхности плужного лемеха сельскохозяйственных машин // Патент России №2453412, Бюл.№ 17.

25. Михальченков А. М., Паршиков П. А., Будко С. И. Способ восстановления плужных лемехов с одновременным упрочнением // Патент России №2457090 Бюл. №2.

26. Михальченков А.М., Паршикова Л.А., Гамов А.Е. Способ повышения долговечности деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин № 2443524 Бюл. №6.

27. Михальченков А. М., Ковалев А. П. Лемех повышенной стойкости к абразивному изнашиванию // Патент России № 2450496 Бюл.№ 4.

28 Михальченков А. М., Паршикова Л. А. Способ восстановления плужных лемехов // № 2413601 Бюл. №7.

29. Козарез И. В., Михальченков А. М., Ковалев А. П. Способ восстановления рабочей поверхности лемеха с лучевидным износом // Патент России № 2464146 Бюл. №29.

30. Михальченков А. М., Паршиков П. А., Кожухова Ю. И.. Рабочий орган для подрезания почвы (лемех). // Патент на полезную модель России. № 92756. Бюл. №10.

31. Михальченков А.М., Паршикова Л.А., Кузюр В.М. Лемех плуга для отвальной вспашки // Патент на полезную модель России № 101891. Бюл. №4.

32. Михальченков А.М., Будко С.И., Кожухова Н.Ю., Анисин А.Н. Плужный лемех (лемех конструкции Брянской ГСХА) // Патент на полезную модель России. № 95285 Бюл. №18.

33. Михальченков А. М., Ковалев А. П., Осипенко В. В. Способ изготовления конструктивного элемента рабочего органа машины, эксплуатируемой в почвенной среде // Патент России № 2473415 Бюл. №3.

34. Михальченков А.М., Осипенко В.В., Тюрева А.А. Лемех // Патент на полезную модель. № 119200. Бюл. №23.

АНАЛИЗ И ОСОБЕННОСТИ ИЗНОСОВ ПЛУЖНЫХ ЛЕМЕХОВ  
РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ДИНАМИКА ИХ ИЗНАШИВАНИЯ

*к.т.н., Козарез И.В., д.сх.н., проф. Ториков В.Е.,  
соискатель Михальченко М.А. Брянский ГАУ.*

**Аннотация.** Материалы статьи представляют собой, хотя и сходные по существу исследования, но в силу некоторой разности в методологических подходах они разделяются на две относительно независимых части. Первая часть рассматривает результат изнашивания, вторая же часть вскрывает динамику износа лемехов в состоянии поставки и восстановленных применением термоупрочненных долот.

На основании анализа износов цельнометаллических и составных лемехов установлено, что предельное состояние отечественных и зарубежных деталей определяется различными видами дефектов. Так, если ресурс лемехов российского производства регламентируется в основном лучевидным износом и истиранием заглубляющей части носка, то такой же показатель у импортных деталей обуславливается износом режущее-лезвийной части остова. В связи с этим при разработке технологий восстановления импортных изделий необходимы совершенно иные подходы в сравнении с отечественными. Обращается внимание на то, что ряд износов односторонних долот, могут быть устранены, и не являются основанием для их выбраковки. Многочисленными экспериментами показано что: разнообразность технологических воздействий при изготовлении и восстановлении деталей, эксплуатируемых в абразивной среде во многом определяет формирование геометрии износа и его специфику, влияющих на предельное состояние детали; изменение износов в их линейном и весовом выражении от величины наработки описываются прямолинейной функцией не зависимо от технологических воздействий; для способа восстановления

методом дополнительных элементов, реализованного в двух вариантах, максимальный ресурс детали обеспечивается технологией, заключающейся в приваривании термоупрочненного долота без дополнительного воздействия; наплавочное армирование области восстановления, проведенное электродом для сварки углеродистых сталей, отрицательно влияет на ресурс детали.

**Ключевые слова:** износ, плужные лемеха, цельнометаллические лемеха, составные лемеха, долото, динамика изнашивания, абразивная среда, дефекты, восстановление.

## ANALYSIS AND FEATURES OF WEAR PLOWSHARES DIFFERENT STRUCTURES AND DYNAMICS OF THEIR WEAR

*candidate of technical sciences Kozorez I.V., Doctor of Agricultural Sciences Professor Toriko V.E., Competitor Mihalchenkova M.A.*

*Bryansk State Agrarian University, Russia.*

**Annotation.** Article Submissions are, though essentially similar study, but due to a difference in methodological approaches, they are divided into two relatively independent parts. The first part examines the result of wear, the second part reveals the dynamics of deterioration in the condition of plowshares delivery and reduced the use of thermomechanical bits.

Based on the analysis of wear-metal and composite plowshares found that the ultimate state of the domestic and foreign parts is determined by the different types of defects. For example, if the resource plowshares Russian production is regulated largely luchevidnym wear and tear bury the sock, the same figure for imported parts is caused by wear and tear of the cutting-blade core. In this regard, the development of technologies for the recovery of imported products must be completely different approach in comparison with the domestic. Attention is drawn to the fact that a number of wear-sided bits, can be eliminated, and are not grounds for their rejection. Numerous experiments have shown that: the diversity of

technological influences the production and recovery of parts operating in abrasive environment largely determines the formation of the geometry of the wear and its specificity, affecting the ultimate state of the details; change deterioration in their terms of linear and weight on the value of achievements described rectilinear function regardless of the technological impacts; for the process of recovery by other items sold in two versions, the maximum resource details provided by the technology, which consists in welding the heat strengthened bit without influence; reinforcing filler recovery spent electrode for welding carbon steels, negative impact on the resource details.

**Keywords:** wear, plowshares, all-metal blade, composite plowshares, chisels, the dynamics of wear, abrasive media, defects recovery.

## 1. ИЗНОСЫ ЦЕЛЬНОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ И СОСТАВНЫХ ЛЕМЕХОВ

**Специфика конструкций и технологий изготовления плужных лемехов. Постановка цели.**

Среди разновидностей плужных лемехов наибольшее распространение, как известно, получили долотообразные лемеха, у которых носовая часть выполнена в форме долота, что способствует улучшению таких показателей как заглубляющая способность, тяговое сопротивление, агротехника пахоты [1]. Они изготавливаются цельнометаллическими и составными. Российское сельскохозяйственное машиностроение производит, в подавляющем большинстве, цельнометаллические лемеха, конструкции первой половины 20 века (Рисунок 1а). Их особенностью является наличие запаса металла с тыльной стороны («магазина»), предназначенного для восполнения истертой заглубляющей части путем кузнечной оттяжки. В настоящее время из-за изменившихся технической оснащенности сельского хозяйства (отсутствие сети кузниц), условий эксплуатации (высокие скорости пахоты) и улучшения качества материалов для подрезающих элементов плугов такой запас металла



вряд ли необходим. Лемеха же импортного производства, используемые в АПК России, представляют собой, как правило, сборную конструкцию, состоящую из остова (рисунок 1б) и долота (рисунок 2 а, б, в), скрепленных между собой болтовыми соединениями. Следует отметить, что зарубежные компании выпускают широкий спектр лемехов, по их конструктивному исполнению соотносясь с нуждами потребителей, составами почв и агротехническими требованиями.

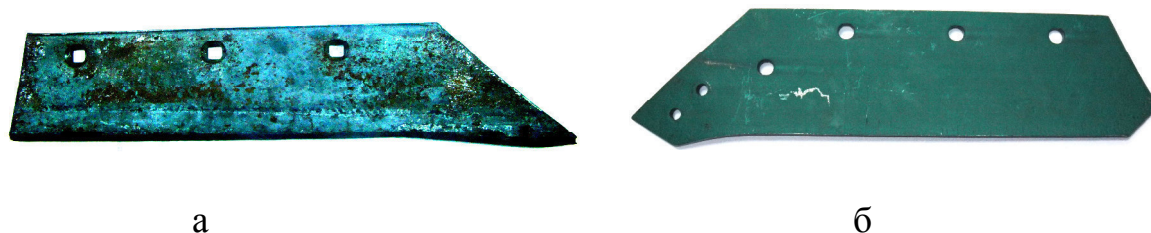


Рисунок 1 – Лемеха в состоянии поставки (а – отечественного производства, б – производства компании «Квернеланд Групп»)

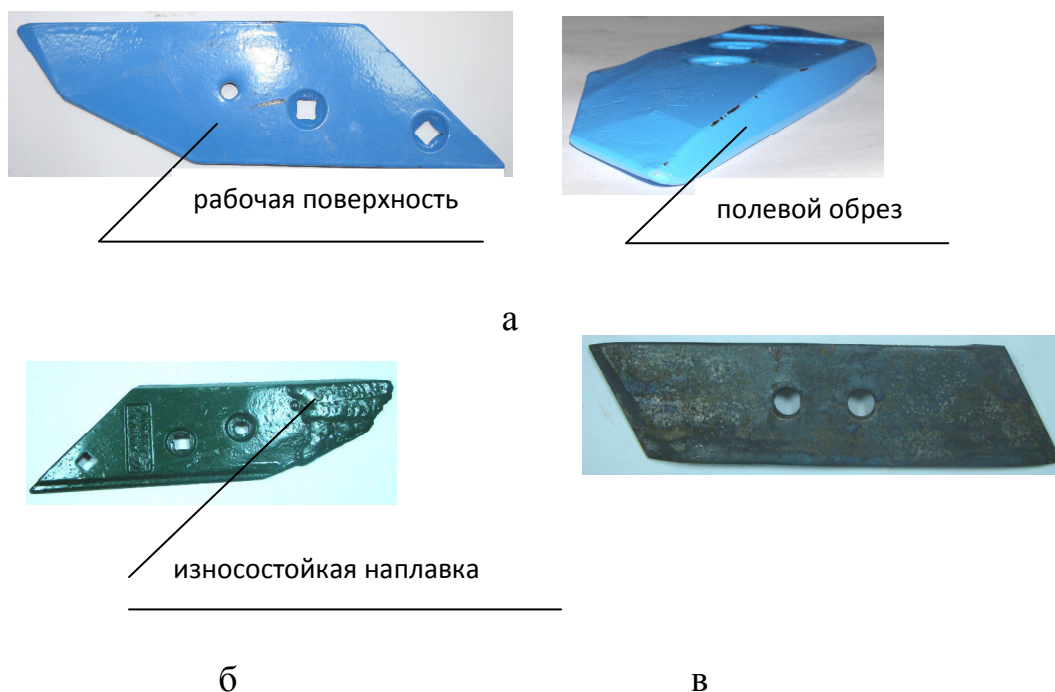


Рисунок 2 – Долота в состоянии поставки (а – одностороннее, производства компании «Лемкен», б – то же с наплавкой режущей части с тыльной стороны, в – двустороннее, производства компании «Квернеланд Групп»)

Наряду с конструктивными особенностями рассматриваемых изделий между ними имеется и разница в технологиях изготовления. В деталях отечественного производства упрочняется только режуще-лезвийная часть наплавкой с тыльной стороны слоя «сормайт» на ширину 25 – 30 мм с твердостью до 54HRC; твердость оставшейся области не превышает 25 HRC. Импортные изделия упрочняются термообработкой по всей площади до 50HRC [2]. Аналогичному воздействию подвергаются и долота. Однако в последнее время некоторые компании (например, «Лемкен») производят наплавку долот с тыльной стороны абразивностойким сплавом (рисунок 2б).

Долота отличаются по своей конструкции и делятся на односторонние (рисунок 2а, б) и двусторонние (рисунок 2в). Кроме того, толщина таких деталей (особенно в области полевого обреза) в ряде случаев превышает толщину остова лемеха (рисунок 2а).

Различия в конструкциях, технологических подходах к изготовлению и условиях эксплуатации накладывают отпечаток на специфику износов цельнометаллических и составных лемехов отечественного и импортного производства соответственно. Под спецификой понимается: а - месторасположение износа; б – его геометрическая форма. Эти факторы оказывают определяющее влияние на предельное состояние и выбор способа восстановления.

Изучению износов лемехов плужных корпусов посвящено большое количество работ, проводившихся в течение длительного периода [3, 4]. Такие исследования осуществлялись применительно к цельнометаллическим лемехам отечественного производства. Тем не менее, подобные изыскания нельзя считать полностью завешенными. Работы же, направленные на рассмотрение износов составных лемехов, весьма малочисленны, так как распространение этих конструкций произошло только в последнее десятилетие [2].

Исходя из вышесказанного, вопрос об исследовании износов не утратил своего значения и в настоящее время, особенно с точки зрения,

разработки оптимальных технологий повышения долговечности.

### **Результаты наблюдений.**

Представленные материалы получены в результате восьмилетних наблюдений за отечественными лемехами и пятилетних за импортными, которые эксплуатировались на различных по составу почвах от легких супесей до тяжелых суглинков в юго-западном регионе Нечерноземья – Брянская область. (Контролировались детали отечественного производства и зарубежных компаний «Фогель и Ноот», «Квернеланд Групп», «Лемкен», «Беллота»).

В процессе наблюдений установлено, что цельнометаллические лемеха сохраняли работоспособное состояние до невысокой наработки от 2 до 12 га, тем самым подтверждая результаты, полученные другими исследователями. В свою очередь, составные имели аналогичный показатель от 20 до 60 га [2]. Столь существенная разница в ресурсах отечественных и зарубежных лемехов объясняется рядом причин. Первая – использование сменных двусторонних долот, подвергнутых термоупрочнению (рисунок 2в), либо упрочненных по всей режущей части абразивостойким сплавом (рисунок 2б), что позволяет полностью исчерпать ресурс остова. Вторая – наличие термообработки по всему объему детали и на всю глубину до 50HRC, близкой к твердости «сормайта». Третья – значительно большая ширина режущей части импортного лемеха (60 мм), чем отечественного (30 мм). Четвертая – увеличенная толщина как остова, так и долота, особенно одностороннего (рисунок 2а). В тоже время, стоит отметить, что цена импортных изделий фирменного изготовления превышает цену отечественных в 8 - 9 раз. Рыночная цена отечественных деталей составляет 450-520 рублей; импортных около 4200 рублей.

Характерные износы цельнометаллических лемехов российского производства сведены в таблицу. Такие дефекты, как затупление лезвия, наличие затылочной фаски не учитываются, так как они не оказывают

существенного влияния на качество вспашки и выбор метода реставрации.

Оставлены без рассмотрения и приобретенные пороки в виде трещин, изломов, изгибов вследствие их случайного характера появления и крайне низкой повторяемости.

Таблица 1 – Износы плужного лемеха

Наименование износа	Количество лемехов с износами, превышающими предельный, %
Износ по ширине	6
Износ по толщине	15
Износ полевого обреза	25
Износ пятки	25
Износ заглубляющей части	30
Лучевидный износ	84

Изнашивание цельнометаллического лемеха по ширине нередко сопровождается перезатачиванием лезвийной части с наружной на тыльную из-за процесса самоорганизации износа. (У деталей российского производства заточка осуществляется со стороны рабочей поверхности). Во избежание этого явления в отечественных лемехах используется эффект самозатачивания путем наплавки твердого сплава «сормайт» на тыльную сторону лезвия. Вопрос о заточке лемехов - тыльной или наружной - до сих пор остается открытым. Авторы поддерживают точку зрения, заключающуюся в отсутствии необходимости заточки вообще, т. к. при вспашке происходит затачивание лезвия с наружной или тыльной стороны «самой почвой» в зависимости от ее гранулометрического состава. (Большинство зарубежных фирм, изготовителей деталей почвообрабатывающих орудий, такой операции не производит).

Отдельного рассмотрения требует механизм износа лезвия при наличии с тыльной стороны твердого слоя. Наблюдения позволили установить, что износ сопровождается образованием тонкой кромки на лезвии, связанный с

различной интенсивностью изнашивания основного металла и твердого покрытия. Последующая эксплуатация приводит к ее излому, и так процесс повторяется с определенной периодичностью. Таким образом имеет место: изнашивание, сопровождающееся изломом предельно истончившейся части.

Износ отечественных лемехов по ширине менее 25 мм (предельный износ 30 мм) при пахоте супесчаных и суглинистых почв не ограничивает их возможность к возобновлению ресурса и позволяет производить не менее 3-х кратное восстановление, применяя способ «термоупрочненных элементов» [5]. В этом случае, производится периодическое приваривание долота взамен износившегося с соблюдением установленного техническими условиями соотношения остаточной ширины лемеха и вылета заглубляющей части.

Изнашивание лемеха по толщине при работе плуга исследовалось авторами [5, 6], где установлено, что наибольшему износу подвержен носок лемеха, более чувствительный к изменению режима вспашки. Минимальная толщина присуща заглубляющей части, так как давления почвы на этом участке имеют максимальные значения. Износ по толщине является основным критерием выбраковки как отечественных, так и импортных лемехов. Остаточная толщина по техническим нормативам должна быть не менее 5 мм. Однако опыт использования восстановленных деталей позволяет утверждать, что при таком значении эксплуатация на определенном типе почв возможна. Более того, в СССР ряд районных РТП изготавливали лемеха из проката толщиной от 4 до 7 мм, сообразуясь с местным составом почв, что не приводило к существенной потере ресурса, при этом имело место заметное снижение расхода топлива.

Износ полевого обреза встречается у 25% лемехов российского производства после снятия их с эксплуатации (таблица, рисунок 4в, г ). Причины этого явления кроются в значительных давлениях почвы и высокой скорости скольжения абразивных частиц в этой области. [3]

Подобный износ не может являться причиной выбраковки отечественного лемеха, достигнув величины, при которой его эксплуатация

не представляется возможной по агротехническим требованиям. Применение метода замены долотообразной части на термоупрочненную путем приваривания позволяет существенно увеличить его долговечность. Однако, нельзя обойти стороной тот факт, что в последнее время из-за снижения уровня подготовки трактористов и специалистов инженерной службы часто допускается эксплуатация лемехов с величиной износа, значительно превышающей предельный (рис. 4г), что категорически недопустимо как с технической, так и с земледельческой стороны. В основе же появления дефекта такого типа лежит чрезмерное развитие лучевидной формы износа.

Износ пятки характерен для 28% отечественных деталей и происходит менее интенсивно, чем износ носка (таблица, рисунок 3б). Давление в этой части лемеха при пахоте песчаной и супесчаной почв на глубину 18-20 см в 4...6 раз меньше, чем давление в области носка, однако оно превышает давление на режуще-лезвийную часть [3]. Немаловажную роль в образовании износа пятки играют вибрации (лемех в этом случае рассматривается как консоль) и неустойчивость хода плуга.

Достаточно интенсивно у отечественных лемехов изнашивается заглабляющая часть носка (рисунок 3). Такой дефект отмечается у 30 % деталей, работающих на почвах нечерноземья России (таблица). Это, прежде всего, связано со сравнительно высоким давлением в данной зоне, которое превышает давление на лезвие в 2 и более раз [3].



а



б

Рисунок 3 – Износ а - заглабляющей части носка лемеха, б – пятки  
(супесчаные почвы)

Эксплуатация лемеха с износом заглабляющей области свыше 60 мм

согласно принятым агротехническим условиям не допустима, поскольку заглабление затруднено, пахота неравномерна по глубине, увеличивается тяговое сопротивление, а, следовательно, и расход топлива. Многолетний опыт позволяет говорить о необходимости уменьшения этого значения. Предельный износ нижней зоны носка лемеха не должен превышать 45 мм, так как уже при такой потере размера нарушаются устойчивость движения плуга и его заглабляющая способность, а также агротехнические условия на пахоту (например, крошение почвы). Учитывая, что в настоящее время вспашка в большинстве случаев производится многокорпусными плугами, то чрезмерно высокий износ этой части будет приводить к необоснованным издержкам как с технической (интенсификация износов деталей агрегата), так и с экономической стороны (затраты на ремонт и энергоносители).

Лучевидный износ лемеха образуется в области, примыкающей к полевому обреза (рисунок 4а, б в, г), и достигает 84% у лемехов, поступивших на восстановление. Он является наиболее характерным дефектом для подрезающих элементов, эксплуатирующихся на нечерноземных почвах России. Наиболее характерные геометрические параметры: ширина от 120 мм у спинки и до 5мм у носка; глубина – до сквозного протирания [7].

Столь высокий процент повторяемости такого износа говорит о его преобладающем влиянии на ресурс детали. Фактически другие износы по отношению к нему можно назвать сопутствующими. Образование этой геометрической формы носка объясняется тремя факторами: меньшей твердостью верхней части, чем нижней (наличие слоя «сормайт» и влияние термообработки при его нанесении); «веерным», по мнению [8], перемещением почвенной массы; ростом абразивности истирающей компоненты в связи с повышенной степенью ее крошения в области спинки. Остаточная толщина лемеха в зоне «луча» определяет дальнейшую эксплуатацию детали. Этот параметр остается фактически неизменным по средней линии «луча», так как изнашивающая способность почвы в районе

заглубляющей части в сравнении с областью спинки невелика из-за ее комковатой структуры, хотя давление почвы здесь выше [7].

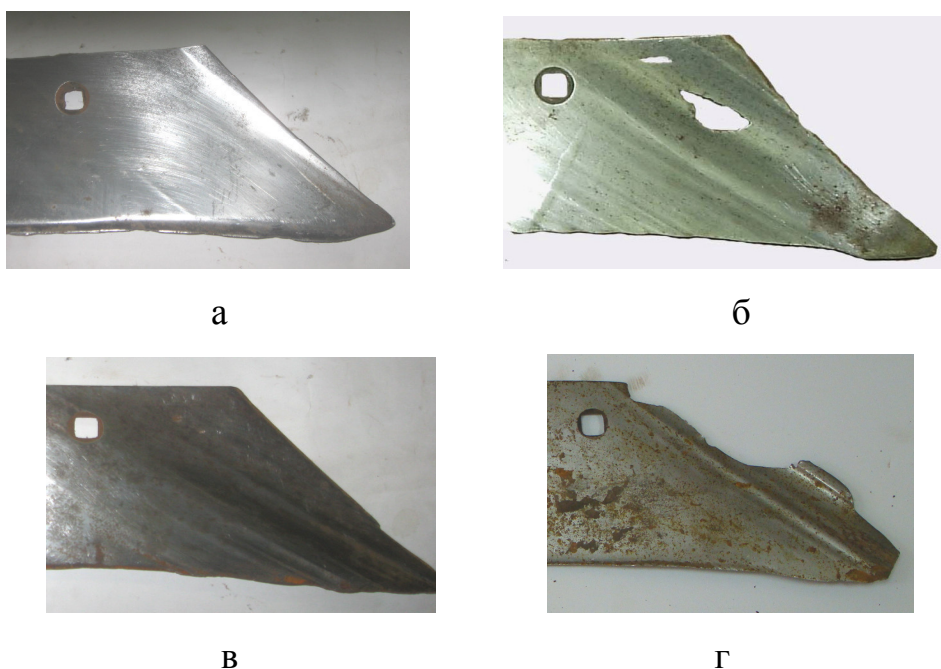


Рисунок 4 – Лучевидный износ

При анализе износов составных лемехов необходимо рассматривать остов и долото отдельно, как две отличные друг от друга детали, составляющие конструкцию. Нужно отметить, что система силовых воздействий со стороны почвы на такой лемех останется такой же неравномерной как и в случае цельнометаллического. (Все же попытки конструкторов распределить давление грунта более равномерно по площади рабочей поверхности прилагаются, и примером может служить лемех компании «Квернеланд Групп», имеющий весьма сложную пространственную геометрию). Отсюда следует, что составному лемеху, в определенной степени, присущи те же износы, что и цельнометаллическому. Однако, интенсивность их образования, степень влияния на работоспособность и выбор технологий восстановления будут в значительной мере отличаться. Следует оговориться, что при конструировании и изготовлении влияние различной интенсивности



изнашивания на отдельных участках импортных лемехов на работоспособность детали в целом учтено в большей степени, чем отечественных, хотя и не решено окончательно. В частности, не удалось добиться равностойкости детали по всему объему.

Применительно к остовам составных лемехов имеют место следующие износы: режуще-лезвийной части; пятки; по толщине; области крепления долота.

Ресурс остова, прежде всего, регламентируется интенсивностью изнашивания режущей области по ширине. Причем такой вид износа имеют 100%-ов деталей, снятых с эксплуатации (рисунок 5а, б), и он характерен для изделия всех вышеуказанных фирм. Отмечается, что его величина не одинакова по длине изношенной части. Так, авторами [9] указывается, что в плоскости измерения, близкой к области крепления долота он минимален (рисунок 5б). В тоже время, в период наблюдений имели место изделия, у которых минимальные значения износов достигались, примерно, в той части остова, где проходит сечение среднего крепежного отверстия (рисунок 5а). Неравномерность износа вызывает трудности технологического порядка при восстановлении. Например, при вваривании термоупрочненного компенсирующего элемента взамен предельно изношенной режущей части необходимо проводить выравнивание линии стыка.

Нельзя обойти вниманием тот факт, что ряд пользователей эксплуатируют лемеха до износов несовместимых с агротехническими требованиями (рисунок 5б). Восстановление изделий с подобными износами сопряжено с дополнительными трудностями, а часто невозможно по причине недостаточной жесткости оставшегося металла, что приводит к нарушению пространственной геометрии реставрированной детали.

Износ у остова по ширине сопутствует потеря размеров пятки, причем в большей степени. Аналогично износу режущей части подобный дефект имеют также 100% лемехов. Такая повышенная интенсивность изнашивания объясняется теми же факторами, что характерны для цельнометаллических

лемехов: увеличенным давлением почвы в сравнении с лезвием, колебательными перемещениями самой детали и повышенным влиянием неравномерности хода плуга. Величина такого износа определяет ширину привариваемого компенсирующего элемента вставки [9].

Изменение толщины остова происходит от минимума к максимуму в области крепежа долота до пятки соответственно. При этом, зона пятки имеет толщину, значение которой часто превышает предельное, то есть составляет менее 5 мм. Поэтому при изготовлении и восстановлении необходимо обращать внимание на «усиление» этого участка для обеспечения равностойкости детали в целом. Основываясь на таких исследованиях, предложена технология восстановления, предусматривающая наплавку данной области абразивностойким сплавом с тыльной стороны [9]. Особое внимание упрочняющему воздействию, следует уделять при повторном (неоднократном) восстановлении остова, из-за высокой вероятности полного истирания этой части.

Достаточно часто имеют место истирания нижней части области крепления долота, включая и нижнее крепежное отверстие, что приводит к выбраковке лемеха. Причина появления такого дефекта кроется в недопустимо халатном отношении к правилам пользования техникой. Безусловно, что эксплуатация лемехов до приобретения данного порока недопустима, так как работа плуга происходит с полностью изношенной режущей частью долота, и приводит к нарушению всех возможных технических, технологических и сельскохозяйственных факторов.

Долотам присущи износы: режуще-лезвийной части, лучевидный, полевого обреза и по толщине.

Общим для долот (одно- и двухсторонних) всех фирм, снятых с эксплуатации является полное истирание режуще-лезвийной части. Восстановление двухсторонних долот с таким износом не производится, то есть этот фактор определяет их предельное состояние. Двухсторонние долота с подобным дефектом восстанавливаются привариванием новой

упрочненной режущей части в случае сохранения работоспособного состояния крепежа. Тем не менее, он определяет возможность повторного использования изделия.



Рисунок 5 – Характерный износ режуще-лезвийной части импортных лемехов: (а - лемех фирмы «Квернеланд Групп»; б - лемех фирмы «Беллота»)

Как и в отечественных лемехах у импортных долот имеет место образование лучевидного износа. Особенно это характерно для односторонних долот упрочненных наплавкой износостойкого сплава с тыльной стороны (рисунок 5а). (Коэффициент повторяемости подобного вида износа для таких долот равен единице). Прежде всего, это связано со значительным периодом времени его использования в одном положении в отличие от двухстороннего. У двухсторонних же долот такой износ если и прослеживается, то выражен он не ярко по причине изменения их положения относительно вектора перемещения почвы. Лучевидный износ не является основанием для выбраковки одностороннего долота и устраняется двухслойной заправкой [7].

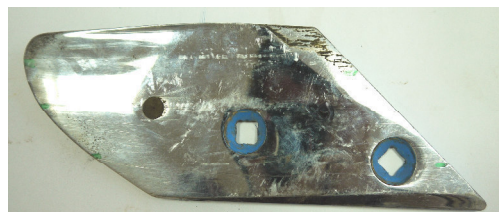
Заметное истирание полевого обреза, большей частью присуще односторонним долотам производства компании «Лемкен» (рисунок 5б) и обусловлено чрезмерно длительной их эксплуатацией. Как правило, детали с наличием такого порока имеют всю совокупность износов в их предельном выражении и в большинстве случаев непригодны к восстановлению.

Износ двухсторонних долот по толщине не оказывает никакого влияния на их ресурс, так как работоспособность лимитируется опережающим истиранием режуще-лезвийной части с обеих сторон.

За весь период наблюдений появление трещин и изгибов у двухсторонних долот не фиксировалось. Их отсутствие связано с достаточно большой толщиной детали, ее сравнительно небольшими габаритами, что обеспечивает значительную конструкционную прочность, и сменой режущей части путем его оборота.



а



б



в

Рисунок 6 – Изношенные долота (а – лучевидный износ долота производства фирмы «Лемкен», б – износ по толщине и режущей части долота производства фирмы «Лемкен», в – износ режуще-лезвийной части долота компании «Беллота»)

Достаточно длительная эксплуатация односторонних долот, когда наработка превышает 60 га, на супесчаных почвах, обладающих высокой изнашивающей способностью приводит к такому уменьшению толщины долота, что не исключает появления изгиба либо излома.

## 2. ДИНАМИКА ИЗНАШИВАНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ЛЕМЕХОВ ЗАВОДСКОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ЛЕМЕХОВ С ПРИВАРЕННЫМИ ТЕРМОУПРОЧНЕННЫМИ ДОЛОТАМИ

### Введение

Эксплуатация деталей почвообрабатывающих, строительных и

некоторых других машин часто происходит в условиях абразивного изнашивания при их свободном перемещении и, как правило, сопровождается локальными износами ( $I$ ) приводящими к потере работоспособности изделия в целом.

Снизить отрицательное влияние местного изнашивания на работоспособность конструктивных элементов позволяет проведение упрочнения областей ожидаемого износа на стадии изготовления или восстановления. Данный метод широко распространен в различных отраслях техники при конструировании, производстве и ремонте деталей [10].

Рассматриваемая проблема характерна и для долотообразных цельнометаллических лемехов плужных корпусов отечественного производства. Более того, лемех является наиболее типичной деталью, вобравшую в себя все факторы воздействия абразивной среды при его перемещении в незакрепленном абразиве.

### **Постановка задачи**

Одним из способов, обеспечивающих локальное упрочнение деталей для обработки почвы, является создание штампованных конструкций, у которых остов изготавливается из стали с относительно невысокими свойствами, а наиболее нагруженная часть из материала с повышенной стойкостью к абразивному изнашиванию. В настоящее время этот способ нашел определенное распространение при восстановлении плужных лемехов [11].

Реализация способа выражается в технологии реставрации, основанной на способе «термоупрочненных компенсирующих элементов», подробно описанной в работах [11, 12, 13] и заключающейся в приваривании долота взамен предельно изношенного. В то же время исследований по динамике износа и его геометрии, определяющей предельное состояние применительно к восстановленным подобным способом изделий в известной литературе не найдено. Прежде всего, возможность эксплуатации таких

деталей, как известно, ограничивается затуплением и истиранием заглабляющей части, образованием трапециевидной формы и остаточной толщиной лучевидного износа [14].

Для решения этих вопросов проводилась серия экспериментов, основанных на сравнительном анализе изнашивания и геометрических форм ограничивающих ресурс лемехов, подвергнутых различным вариантам упрочняющего восстановления и в состоянии поставки.


Нужно заметить, что восстановление лемехов плужных корпусов как российского так и зарубежного производства с одновременным повышением стойкости к абразивному изнашиванию в настоящее время приобретает особое значение в связи с их невысоким ресурсом и значительной ценой.

Таким образом, целью данных изысканий является выявление геометрических факторов определяющих ресурс лемехов после реставрации с учетом предельного состояния и изучение характера изменения износов в зависимости от наработки (Т) этих деталей, восстановленных путем замены износившейся долотообразной части на долото повышенной стойкости к абразивному изнашиванию.

### **Методика исследований**

Испытывались лемеха, в состоянии поставки – 1 и восстановленные по двум технологическим вариантам (таблица 2): 2 – приваривалось термоупрочненное долото взамен непригодной, предельно изношенной носовой части и производилось наплавочное армирование в области восстановления [15], 3 – то же, что и вариант 2, но без дополнительных упрочняющих воздействий. Цифрами обозначены группы экспериментальных лемехов в соответствии с технологическими вариантами (схемами) (таблица).

Таблица 2 - Нарботка и причины утраты работоспособности лемехов, восстановленных по различным технологическим вариантам

Цифровое обозначение варианта	Технологический вариант восстановления	Наработка на откате Т, га	Причина утраты работоспособности (параметр предельного состояния)	Предельное состояние лемехов, фотографии
1	Лемехи в заводском исполнении	9,5	Лучевидный износ	
2	Долото, приваренное встык с армированием области восстановления электродом для сварки углеродистых сталей	14	Трапециевидный профиль, износ носка свыше 45 м	
3	То же, без армирования	16	Износ носка свыше 45 мм	

Количество опытных деталей составило 9 штук на каждую технологическую схему, что обусловлено периодичностью измерений, диктуемой сменностью работы пахотного агрегата.

Измерения  $I$  проводились в полевых натуральных условиях (супесчаные почвы с влажностью 25-28% при соблюдении агротехнических и эксплуатационных условий) после каждой смены, чтобы отследить динамику износа. Из-за особенностей испытаний величина наработки носила непостоянный характер и составляла примерно около двух гектар.

Контролировались: остаточная толщина и соответствующий износ ( $\Delta t_i$ ), износ ( $\Delta L_0$  и  $\Delta L_1$ ) заглубляющей части по размерам  $L_0$  и  $L_1$ , (рисунок 1 а, б).

Износ по толщине в данном случае может определять предельное состояние, так как восстановлению подвергались детали после определенной наработки, с уменьшенной толщиной. Количество контролируемых точек при исследовании износа  $\Delta t_i$  выбиралось из соображений максимального охвата области полевого обреза. Некоторое их удаление от его кромки связано с высокой вероятностью истирания. Наряду с измерением геометрических параметров определялся износ по массе  $\Delta m$ .

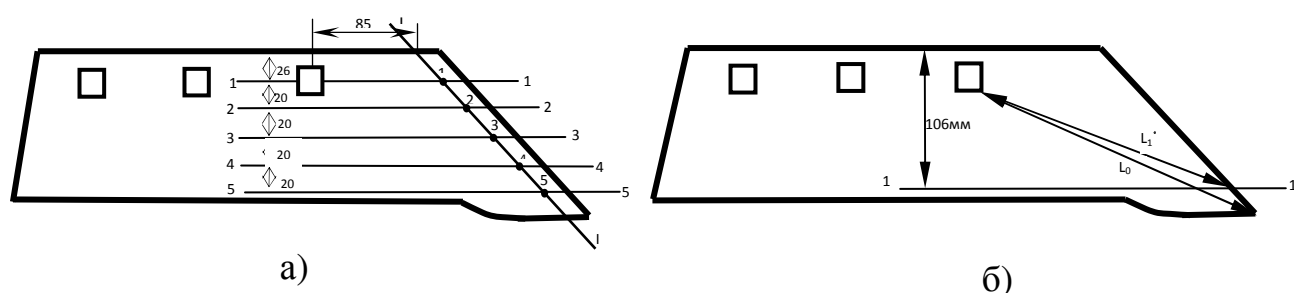


Рисунок 7 – Схема измерения геометрических параметров:

а) износ по толщине; б) износ по заглубляющей части

Экспериментальные лемеха соответствовали техническим и сельскохозяйственным условиям на эти детали. Твердость серийных изделий в области носка составляла 23-25HRC, твердость приваренных долот около 45-48 HRC.

### Результаты экспериментов и их обсуждение

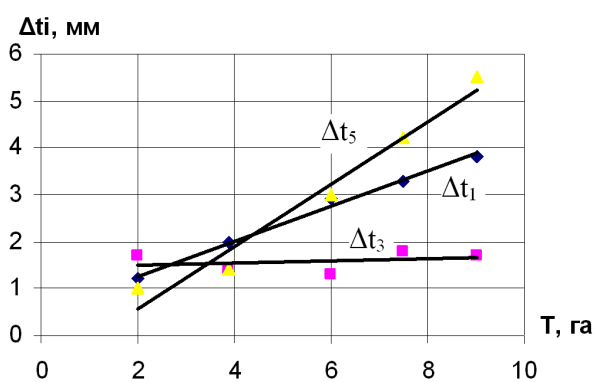
При анализе динамики износов по толщине на графиках  $\Delta t_i=f(T)$  (рисунок 8 а, б, в) показаны результаты измерений только в точках 1, 3, 5 (рисунок 7а), так как они в достаточно полной мере характеризуют изнашивание исследуемой части лемеха (где  $T$  – наработка в га). Для более подробной оценки данных экспериментов рассматривались эпюры износов по длине ( $L$ ) полевого обреза (рисунок 7б).

Зависимости  $\Delta t_i$  лемеха от его наработки  $T$ , носят линейный характер (рисунок 8 а, б, в) и идентичны для всех испытываемых деталей. Аналогичная

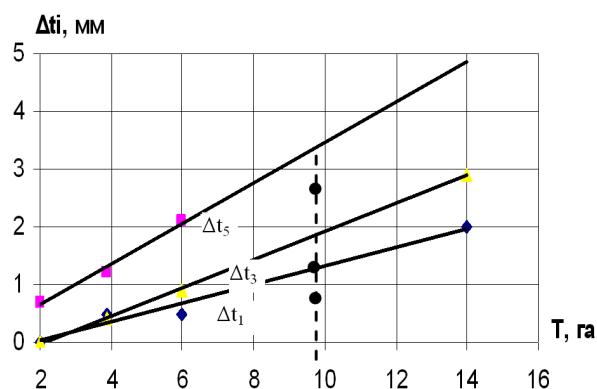


связь была получена в лабораторных условиях [16] и подтверждена натурными экспериментами [17] для различных оценочных параметров износа, что указывает на одинаковый характер процесса изнашивания, в условиях абразивного воздействия почвенной массы. Графики построены до наработки, определяемой предельным состоянием экспериментальных образцов ( $T_{пр}$ ), выражающуюся в образовании лучевидного износа у лемехов заводского исполнения и трапециевидной формой с износом носка более 45 мм у восстановленных (таблица). Максимальную  $T_{пр} = 16$  га имеют восстановленные лемеха без упрочнения (рисунок 8 в), минимальную – лемеха в состоянии поставки – 9,5 га (рисунок 8а). Армирование, как дополнительная операция упрочнения, не обеспечивает должной эффективности по наработке, так как предельное состояние детали достигается при  $T_{пр}$  равное 14 га, что ниже чем у лемехов без армирования.

Наибольший износ по толщине наблюдается в точках 5 (рисунок 7а), как у изделий заводского исполнения, так и у восстановленных (рисунок 3 а, б, в), обусловленный максимальными давлениями почвы в области заглубляющей части, хотя ее изнашивающая способность в этой части сравнительно невысока из-за комковатой структуры. (Рассматриваются эюры  $\Delta t_i$  при наработке до достижения лемехами предельного состояния). По мере приближения к верхнему обрезу у восстановленных лемехов, согласно эюрам (рисунок 9 б, в), прослеживается тенденция к уменьшению  $\Delta t_i$  ввиду снижения такого давления.



а



б

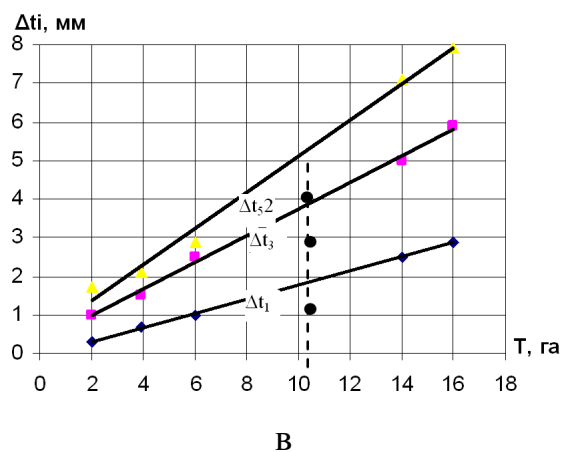


Рисунок 8 - Изменение износов лемехов по толщине: а) лемех в состоянии поставки; б) лемех с приваренным встык долотом и армированием области восстановления; в) тоже без дополнительных технологических воздействий

У лемехов же заводского исполнения  $\Delta t_i$  распределено иначе, и связь между давлением почвы и изменением толщины лемеха не просматривается (рисунок 9 а). Относительно высокий износ в точке 1 в сравнении с точкой 3 объясняется увеличением влияния абразивности почвенной среды из-за большей возможности свободного перемещения абразивных частиц почвы на данном участке и сравнительно невысокой твердости металла детали. При этом повышение изнашивающей способности почвы превалирует над ее давлением на лемех (давление в точке 3 выше, чем в точке 1). Нужно отметить, что абразивность среды не будет оказывать столь значительного влияния на восстановленные изделия, как в случае износа лемехов заводского исполнения вследствие сравнительно высокой твердости приваренных долот, которая в определенной степени нивелирует воздействие данного фактора.

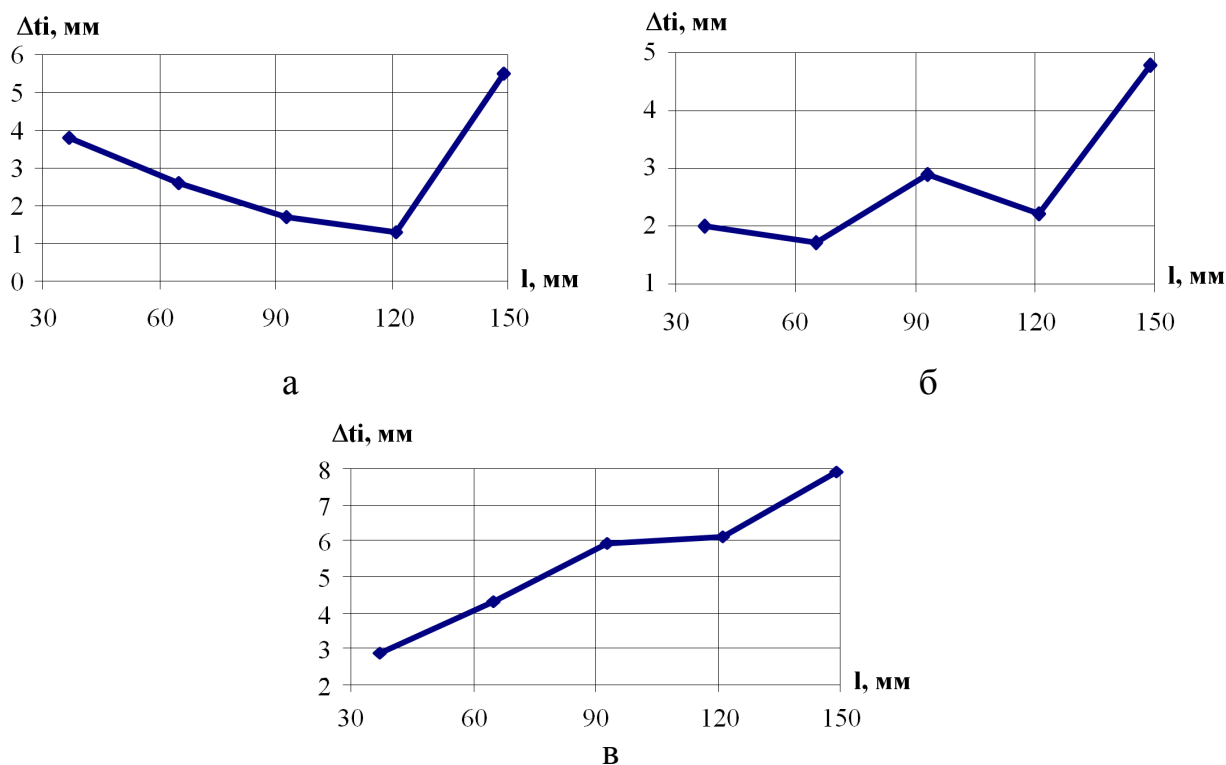


Рисунок 9 – Эпюры износов лемехов по толщине: а) лемех в состоянии поставки; б) лемех с приваренным встык долотом и армированием области восстановления; в) тоже без дополнительных технологических воздействий ( $L$ - длина полевого обреза)

Использование наплавочного армирования создает условия для снижения изнашивания лемеха по толщине (рисунок 9 б), которое связано с уменьшением времени и пути контактирования абразивных частиц с рабочей поверхностью, проявлением эффекта проскальзывания и увеличением толщины лемеха на отдельных участках за счет наплавленных валиков [18]. Значительное влияние на  $\Delta t_i$  несомненно будет оказывать величина наработки на отказ.

Вследствие опережающего изнашивания заглубляющей части носка в сравнении с другими участками лемеха, был сделан анализ износов, оцениваемых потерей размеров  $\Delta L_0$  и  $\Delta L_1$  в контрольных точках: максимально удаленной от третьего крепежного отверстия и на пересечении плоскости 1-1 с полевым обрезом (рисунок 7 б). Помимо этого для

большинства лемехов, использующихся на различных типах почв, подобный износ является определяющим фактором предельного состояния.

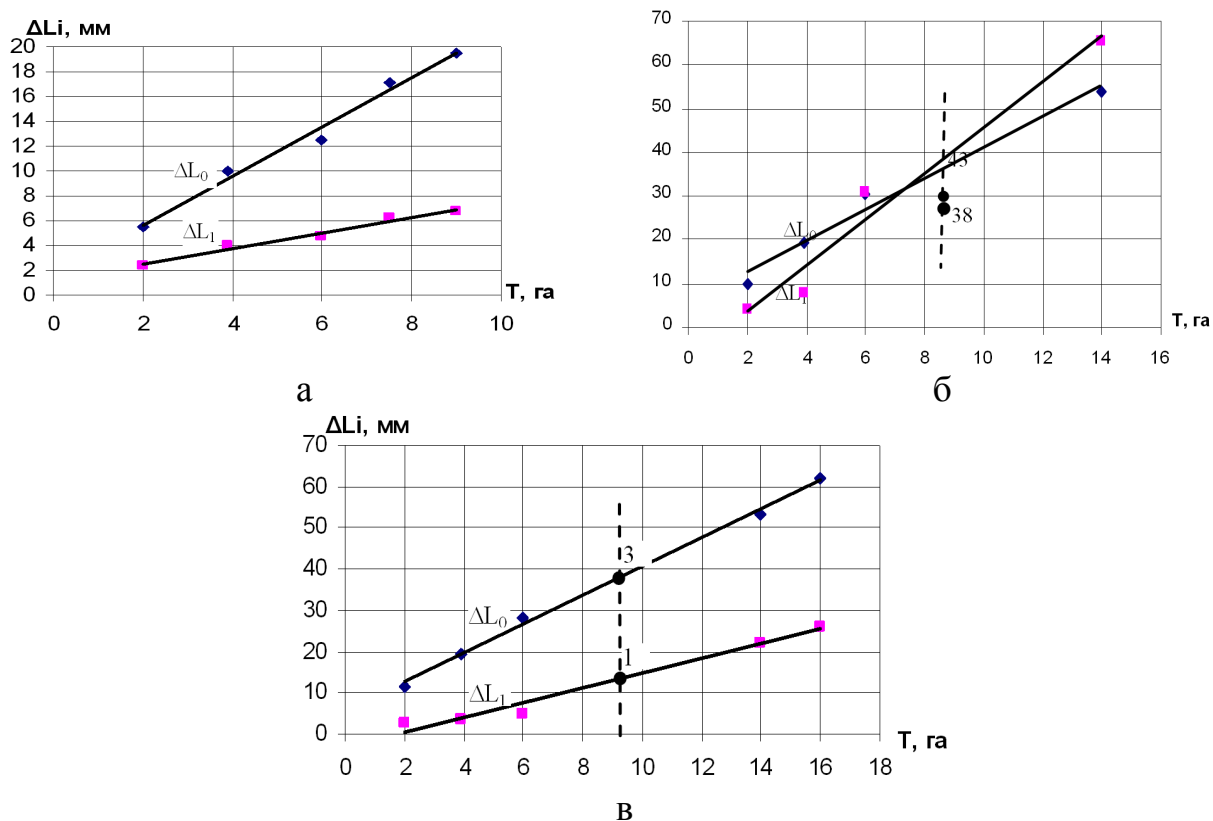


Рисунок 10 – Изменение износов заглубляющей части лемехов от наработки: а) лемех в состоянии поставки; б) лемех с приваренным встык долотом и армированием области восстановления; в) тоже без дополнительных технологических воздействий

У лемехов в заводском исполнении значение  $\Delta L_0$  при наработке 9,5 га равно 19,5 мм,  $\Delta L_1$  – около 7 мм (рисунок 10 а). При той же наработке потеря размеров  $L_0$  и  $L_1$  у восстановленных изделий составляет: у лемехов с армированием области носка  $\Delta L_0=38$  мм,  $\Delta L_1=43$  мм (рисунок 10 б); у лемехов без дополнительных технологических воздействий  $\Delta L_0=38$  мм,  $\Delta L_1=13$  мм (рисунок 10 в).

Анализ износов проводится для наработки  $T = 9,5$  га, являющейся предельной для лемеха заводского исполнения. Из полученных данных следует, что интенсивность изнашивания восстановленных лемехов в

контрольных точках практически в 2 раза выше в сравнении с изделиями заводского исполнения (4 мм/га у восстановленных против 2 мм/га у заводских). Фактором, сдерживающим изнашивание заглабляющей части лемехов в состоянии поставки, является наличие слоя сормайта с тыльной стороны. Для таких лемехов признаком предельного состояния является образование ярко выраженного лучевидного износа, чего не наблюдается у деталей, подвергнутых реставрации.

Наличие лучевидного износа с остаточной толщиной стенки менее 2 мм определило столь невысокую величину ресурса изделий заводского исполнения, и в связи с этим износ заглабляющей части  $\Delta L_0$  и  $\Delta L_1$  в два раза меньше, чем у аналогичного показателя восстановленных деталей. Таким образом, применение долот повышенной твердости позволяет в определенной степени затормозить образование и развитие лучевидного износа, тем самым увеличивая наработку на отказ.

Что касается восстановленных объектов исследования, то износы заглабляющей части носка  $\Delta L_0$  у обоих вариантов примерно одинаковы. Это обусловлено применением долот из одинакового материала, а также отсутствием армирования в этой области.

Износы полевых обреза, оцениваемые по  $\Delta L_1$ , имеют существенную разницу - 13 мм и 43 мм соответственно для лемеха без дополнительных воздействий и лемеха армированного. Данное обстоятельство связано с нарушением правила Шарпи и большими тепловложениями при армировании. Кроме того, марганцовистая сталь 65Г, из которой изготавливаются долота, имеет повышенную чувствительность к температурным воздействиям, что приводит к появлению закалочных трещин и отпускной хрупкости, и соответственно изнашивание в зонах термического воздействия, будет возрастать.

Как известно, весовой метод оценки износов деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин не позволяет судить об их работоспособном состоянии. Тем не менее, в практике исследования абразивного изнашивания

контроль потери массы является неотъемлемой частью экспериментов.

В случае реновации деталей проведение экспериментов по изнашиванию с учетом потери массы, как сравнительного метода, важно ввиду применения различных методов упрочняющего восстановления и материалов.

Если же подходить к рассматриваемому вопросу с позиции трибологии, то оценка износов по потере массы будет более оправдана в сравнении с оценкой по потере размеров с точки зрения общей характеристики для различных деталей по их конструкции и технологическому воздействию и эксплуатирующихся в разнообразных условиях абразивного изнашивания.

$\Delta m^2$ , гр

Отмеченное выше, в полной мере распространяется на исследования, проводимые в представленной работе.

Зависимости потери массы  $\Delta m_i$  от наработки  $T$  подчиняются линейной функции (рисунок 11 а, б, в), подтверждая результаты, ранее полученные рядом исследователей [14], и еще раз указывают на то, что процесс изнашивания при свободном перемещении детали в абразивной среде един.

Потеря массы при наработке 9,5 га у лемехов заводского исполнения составила 520 гр. (рисунок 5 а); у восстановленных с армированием – 700 гр. (рисунок 5 б); без армирования – 650 гр, (рисунок 11 в).

Минимальное значение  $\Delta m_i$  присуще лемехам в состоянии поставки и обусловлено наличием слоя сормайта на тыльной стороне режуще-лезвийной долотообразной части, а также их небольшой наработкой на отказ.

У армированных восстановленных лемехов весовые потери оказались самыми большими. Это связано с двумя факторами: первый – наличие армирующих валиков, подвергающихся высокой степени воздействию почвы; второй – снижение твердости рабочей поверхности вследствие проявления «отжигающего эффекта» от наплавки валиков электродом с малоуглеродистым стержнем. Кроме того, не следует забывать о различных причинах предельного состояния экспериментальных лемехов при оценке

потери массы и определении максимальной наработки. Вопрос заключается в характере износа лемеха, который определяет его предельное состояние.

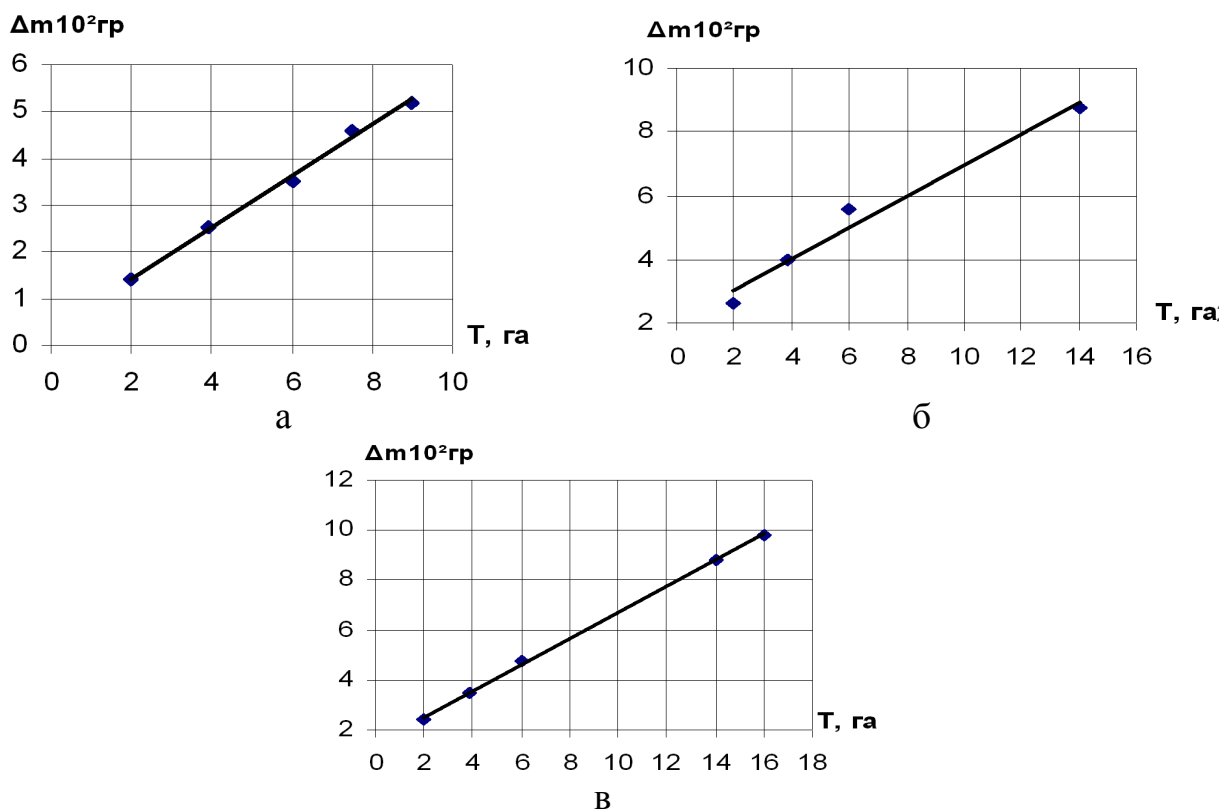


Рисунок 11 - Изменение износов лемехов по потере массы а) лемех в состоянии поставки; б) лемех с приваренным встык долотом и армированием области восстановления; в) тоже без дополнительных технологических воздействий

Потеря массы лемехом даже до 1 кг не является причиной для его выбраковки, так как по своим линейным параметрам деталь остается пригодной к повторному восстановлению.

### Выводы.

1. Предельное состояние отечественных и зарубежных лемехов определяется различными видами дефектов. Ресурс лемехов российского производства регламентируется в основном лучевидным износом и истиранием заглубляющей части носка, такой же показатель у импортных

деталей обуславливается износом режуще-лезвийной части остова.

2. При разработке технологий восстановления импортных лемехов необходимы совершенно иные подходы в сравнении с отечественными.

3. Некоторые износы односторонних долот могут быть устранены и не являются основанием для их выбраковки.

4. Разнообразие технологических воздействий при изготовлении и восстановлении лемехов, эксплуатируемых в абразивной среде во многом определяет формирование геометрии износа и его специфику, влияющих на предельное состояние детали.

5. Изменение износов в их линейном и весовом выражении от величины наработки описываются прямолинейной функцией не зависимо от технологических воздействий.

6. Максимальный ресурс детали обеспечивается технологией, заключающейся в приваривании термоупрочненного долота без дополнительного армирования, так как наплавочное армирование области восстановления, проведенное электродом для сварки углеродистых сталей, отрицательно влияет на ресурс детали.

#### Литература

1. Розенбаум А.Н. Тененбаум М.М. Оптимизация конструктивных параметров изнашивающихся деталей сельхозмашин // Тракторы и сельхозмашины. – 1973. - №7. – С.37-39.

2. Якушенко Н.А. Специфика износов лемехов отечественного и европейского производства // Труды ГОСНИТИ, Москва, том 111, часть 2, - 2013. – С. 223-227.

3. Износ и коррозия сельскохозяйственных машин / М.М. Севернов, Н.Н. Подлекерев, В.Ш. Схоладзе, В.О. Котиков: под ред. Севернева М.М. – Минск: Беларус.навука. - 2011. – 333 с.

4. Михальченков А.М., Попов А.П. Износ плужного лемеха при эксплуатации // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. - №6 –



2005. – С. 82-84.

5. Михальченков А.М., Лушкина С.А, Паршикова Л.А. Характер изменения толщины восстановленных и локально-упрочненных лемехов при эксплуатации // Бюллетень науч. работ Брянского филиала МИИТ. - 2013 вып. 4, №2. - С. 37 – 20.

6. Сидоров С.А. Повышение ресурса почворезущих органов наплавочными сплавами / С.А. Сидоров, А.И. Сидоров // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2003. – № 9. – С. 20 - 22.

7. Михальченков А.М., Ковалев А.П., Козарез И.В. Геометрические параметры лучевого износа лемехов // Тракторы и сельхозмашины. - №6. – 2010. – С.25-29.

8. Мударисов С.Г. Рахимов И.Р., Разбежкин Н.И. Моделирование процесса износа корпуса плуга // Достижения науки и техники АПК, - 2006 - № 5. – С. 42-43.

9. Михальченков А.М., Козарез И.В., Горбачев Р.В. Влияние наплавочного армирования на изнашивание восстановленных лемехов компании Vogel & Noot // Труды ГОСНИТИ, том 111, часть 1, Москва. - 2013. - С. 50-55.

10. Гаркунов Д.Н., Мельников Э.Л., Гаврилюк В.С. Триботехника. Краткий курс. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 308 с.

11. Михальченков А.М., Паршикова Л.А., Киселева Л.С. Классификация способов восстановления лемехов и возобновление их ресурса при наличии устранимых дефектов // Бюллетень научных работ Брянского филиала МИИТ. – 2012. - №1. – С.39-43.

12. Паршикова Л.А., Якушенко Н.А., Лавров В.И. Механические свойства области армирования горячедеформированной стали Л53 и термоупрочненной стали 65Г // Бюллетень научных работ Брянского филиала МИИТ. - 2013. - №1. –С.29 - 33.

13. Михальченков А.М., Паршикова Л.А., Ковалев А.П. Восстановление лемехов методом приваривания вставок с повышением

прочности и износостойкости // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2010. - №12. – С. 16- 18.

14. Михальченков А.М., Козарез И.В., Тюрева А.А. Критерии предельного состояния лемеха // Научное обеспечение агропромышленного производства. –Сб. матер. междунар. н-практич. конф. – Курск. – 2010. – С.278 - 281.

15. Патент на полезную модель RU, № 90287, 10.1.2010.

16. Добровольский А.Г., Кошеленко П.И. Абразивная износостойкость материалов. Справочное пособие. Киев: «Тэхника», 1989, - 125 с.

17. Михальченков А.М., Тюрева А.А., Михальченкова М.А. Новые способы упрочнения плужных лемехов / Тракторы и сельхозмашины - 2007. - №12. – С. 39-40.

18. Михальченков А.М., Комогорцев В.Ф., Тюрева А.А. Пути повышения износостойкости армированной поверхности лемеха // Тракторы и сельхозмашины. – 2010. - №7. – С.35-37.

# ТРУДЫ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА

Редактор д.т.н. проф. Михальченков А.М.

Компьютерная верстка: Бирюлина Я.Ю., Кожухова Н.Ю.,

Михальченкова М.А., Феськов С.А.

---

Подписано к печати 30.11.2015	Формат 60×84 1/16	Бумага печатная
Усл. п.л. 6,5	Тираж 600	Издат. № 373

---

Издательство Брянской государственного аграрного университета  
243365. Брянская область, Выгоничский р-он, с.Кокино, Брянский ГАУ

Отпечатано в ООО «Дизайн-Принт» ИНН 3250522580

Г. Брянск, ул. Дзержинского, 51.

## УПРОЧНЕНИЕ НА СТАДИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Армирование всей площади рабочей поверхности лемеха



Армирование областей носка и пятки лемеха с упрочнением заглавливающей части наплавкой износостойких покрытий



Армирование областей носка и пятки лемеха



Армирование области наиболее вероятного износа лемеха подковообразными валиками



## УПРОЧНЯЮЩИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ

