

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования**

«БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерно-технологический институт

Михальченков А.М., Козарез И.В., Тюрева А.А.

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН

учебное пособие
для самостоятельной работы студентов,
обучающихся по очной, очно-заочной и заочной формам обучения
по направлению подготовки 35.04.06 Агроинженерия, магистерская программа
Технический сервис в АПК

Брянская область 2018

УДК 631.31 (07)
ББК 40.722
М 69

Михальченков, А. М. Повышение долговечности рабочих органов почво-обрабатывающих машин: учебное пособие для самостоятельной работы обучающихся по очной, очно-заочной и заочной формам обучения по направлению подготовки 35.04.06 Агроинженерия, магистерская программа Технический сервис в АПК / А. М. Михальченков, И. В. Козарез, А. А. Тюрева. – Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2018. – 103 с.

Рецензент: директор ИТИ, профессор, д.т.н. А.И. Купреенко.

Учебное пособие рассмотрено и рекомендовано к изданию методической комиссией инженерно-технологического института, протокол № 8 от 24 марта 2018 года.

© Брянский ГАУ, 2018
© Михальченков А.М., 2018
© Козарез И.В., 2018
© Тюрева А.А., 2018

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПЛУЖНЫХ ЛЕМЕХОВ	6
1.1 ПОЧВЫ И ИХ ИЗНАШИВАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ	6
1.2 СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПЛУЖНЫХ ЛЕМЕХОВ	9
1.2.1 ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПЛУЖНЫХ ЛЕМЕХОВ ПРИ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИИ.....	10
1.2.1.1 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИХ МЕТОДОВ	11
1.2.1.2 ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОСЛОЙНОГО ПРОКАТА.....	13
1.2.1.3 ПРИМЕНЕНИЕ УПРОЧНЯЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ.....	14
1.2.2 МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ.....	17
1.2.2.1 ИЗМЕНЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ЛЕМЕХА.....	17
1.2.2.2 ПРИМЕНЕНИЕ СМЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.....	19
1.2.2.3 ИЗМЕНЕНИЕ ФОРМЫ ЛЕЗВИЯ.....	22
1.2.2.4 ФОРМИРОВАНИЕ РЕБЕР ЖЕСТКОСТИ.....	23
1.2.3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ.....	24
1.2.3.1 НАНЕСЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ	25
1.2.3.2 ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА	28
1.2.3.3 АРМИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ.....	29
2. УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ДЕФЕКТЫ ПЛУЖНЫХ ЛЕМЕХОВ	35
2.1 УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПЛУЖНЫХ ЛЕМЕХОВ И ОБРАЗОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ.....	35
2.2 ВЛИЯНИЕ ПОЧВЕННЫХ УСЛОВИЙ НА ХАРАКТЕР ИЗНОСА.....	38
2.3 КРИТЕРИИ ПРЕДЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЛЕМЕХА.....	42
2.4 АНАЛИЗ ДЕФЕКТОВ ПЛУЖНЫХ ЛЕМЕХОВ	46
2.4.1 ДЕФЕКТЫ ПЛУЖНЫХ ЛЕМЕХОВ.....	46
2.5 ОЦЕНКА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛЕМЕХОВ ПОСЛЕ ПОТЕРИ РАБОТОСПОСОБНОГО СОСТОЯНИЯ	49
2.5.1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛУЧЕВИДНОГО ИЗНОСА 50	
2.6 ИЗМЕНЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛЕМЕХОВ ПОСЛЕ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА СУПЕСЧАНЫХ ПОЧВАХ.....	51
2.7 АНАЛИЗ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЛУЧЕВИДНОГО ИЗНОСА ПЛУЖНЫХ ЛЕМЕХОВ В ОБЛАСТИ, ПРИМЫКАЮЩЕЙ К ПОЛЕВОМУ ОБРЕЗУ	55
2.7.1 ОЦЕНКА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛЕМЕХА И ЕГО ЛУЧЕВИДНОГО ИЗНОСА ПОСЛЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ.....	56
2.7.2 КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ПРИЗНАКОВ ЛУЧЕВИДНОГО ИЗНОСА	58
2.7.3 ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЛУЧЕВИДНОГО ИЗНОСА ЛЕМЕХОВ	61

2.7.4 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОМЕТРИИ ЛУЧЕВИДНОГО ИЗНОСА.....	67
3 МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПЛУЖНЫХ ЛЕМЕХОВ.....	73
3.1 МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ, ПОЗВОЛЯЮЩИЕ УСТРАНИТЬ ОДИН ДЕФЕКТ 75	
3.1.1 ЗАВАРИВАНИЕ ТРЕЩИН.....	75
3.1.2 УСТРАНЕНИЕ ЗАТУПЛЕНИЯ.....	76
3.1.3 ПРАВКА ЛЕМЕХА.....	76
3.1.4 ДВУХСЛОЙНАЯ НАПЛАВКА ЛУЧЕВИДНОГО ИЗНОСА	77
3.2 МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ, ПОЗВОЛЯЮЩИЕ УСТРАНИТЬ ДВА ДЕФЕКТА	78
3.2.2 ОТТЯЖКА НОСКА И ЛЕЗВИЯ ЛЕМЕХА	80
3.2.3 ЗАПЛАВКА ЛУЧЕВИДНОГО ИЗНОСА ЛЕМЕХА С ОТТЯЖКОЙ И ПОСЛЕДУЮЩИМ УПРОЧНЕНИЕМ АРМИРОВАНИЕМ	81
3.2.4 ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЛЕМЕХА ПРИВАРКОЙ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	83
3.3 МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ, ПОЗВОЛЯЮЩИЕ УСТРАНИТЬ ТРИ И БОЛЕЕ ДЕФЕКТОВ.....	85
3.3.1 ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЛЕМЕХОВ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ПРИВАРКОЙ СТАЛЬНОЙ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ ЛЕНТЫ.....	85
3.3.2 НАРАЩИВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ НАПЛАВКОЙ, С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ	86
3.3.3 ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЛЕМЕХА СПОСОБОМ ВСТАВОК	87
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	92

ВВЕДЕНИЕ

Цели освоения дисциплины Повышение долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин заключаются в освоении методов повышения долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин; обоснование выбора ресурсосберегающих технологий восстановления; оптимальных режимов нанесения покрытий и последующей механической обработки; разработки технологической документации на восстановление деталей

Знания обучающегося по дисциплине Повышение долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин являются базовыми при выполнении магистерской диссертации и при изучении дисциплин: «Проблемы и направления реновации деталей технических объектов в АПК», «Импортозамещающие технологии возобновления ресурса изношенных деталей».

В результате освоения дисциплины у обучающегося формируются компетенции:

ОК-1 – способностью к абстрактному мышлению, анализу, синтезу;

ПК-5 - способностью и готовностью организовывать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую работу, вести поиск инновационных решений в инженерно-технической сфере АПК

В результате освоения дисциплины обучающийся должен

Знать: основные положения анализа и синтеза при проектировании технологических процессов ремонта; методы и средства организации самостоятельной и коллективной научно-исследовательской работы.

Уметь: обоснованно выражать основные тенденции и направления повышения надежности; проектировать содержание и технологию повышения долговечности.

Владеть: способностью к абстрактному мышлению, анализу, синтезу; способностью проектировать инновационными решениями в инженерно-технической сфере АПК

1. МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПЛУЖНЫХ ЛЕМЕХОВ

1.1 ПОЧВЫ И ИХ ИЗНАШИВАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ

Износ рабочих органов почвообрабатывающих машин происходит при непрерывном взаимодействии их с почвой. Интенсивность и характер изнашивания зависят от природы и свойств почвы, а также от условий взаимодействия с ней рабочих органов [1, 2].

Основным фактором, определяющим ресурс плужного лемеха, является абразивное изнашивание, которое принято рассматривать как процесс разрушения и деформирования материала, происходящий в результате воздействия на него твердых частиц, находящихся в почве [3, 4, 5, 6]. Известно [7, 8], что во многом механизм воздействия абразивных частиц на рабочую поверхность лемеха зависит от ряда факторов, из которых преобладающими следует считать гранулометрический состав почвы, ее плотность и скорость перемещения рабочего органа, так как именно от них в основном зависят величина и место расположение износа.

Среди различных типов почв, характерных для Юго-западного района Нечерноземной зоны Российской Федерации наиболее распространенными являются дерново-подзолистые и серые лесные. В Брянской области они занимают 49 % и 20 % территории, на пахотные земли приходится 875,2 и 444,7 тыс. га соответственно [9]. Характер почв зависит от их гранулометрического состава, поэтому они подразделяют на песчаные, супесчаные, суглинистые и глинистые [10].

Гранулометрический состав песчаных и супесчаных почв характеризуется большим содержанием крупных (0,01...1,00 мм) твердых минеральных частиц – кварца (HV 7...11 ГПа), составляющим примерно 70...85 % грунта (таблица 1.1) [11, 12]. Кроме того, почвообразующие породы дерново-подзолистых и серых лесных почв, в большинстве своем водно-ледникового происхождения, предполагают наличие в них незначительного количества валунов и гальки кристаллических пород (до 12 %) [13]. Подобные почвы, при наличии достаточного количества связывающих веществ (физической глины) и повышенной

влажности, обладают самой высокой изнашивающей способностью [1]. Изнашивающая способность песчаных и супесчаных почвах без каменистых включений составляет 60...260 г/га, а глинистых и суглинистых 2...30 г/га [14].

Таблица 1.1 – Гранулометрический состав наиболее распространенных почв Брянской области (%)

Тип почвы	Размер фракций (мм)					
	1,00... 0,25	0,25... 0,05	0,05... 0,01	0,01... 0,005	0,005... 0,001	менее 0,001
дерново-подзолистые						
песчаные	28,5...34,8	43,8...51,9	8,0...15,6	0,3...3,7	1,3...3,1	1,6...4,5
супесчаные	14,1...29,4	19,8...48,8	25,0...33,7	3,8...5,9	2,4...6,2	4,5...6,4
легкосуглинистые	0,3...12,5	7,9...31,5	43,0...68,5	7,2...12,3	2,6...6,2	4,4...10,0
серые лесные						
легкосуглинистые	0,1...0,7	7,2...20,8	55,5...68,2	4,2...11,0	4,0...11,9	4,7...8,7
светло-серые суглинистые	0,1...0,6	2,5...18,9	59,2...75,4	6,4...11,9	3,9...7,9	5,5...12,3

Именно повышенное содержание твердых абразивных частиц предопределяет механизм изнашивания плужных лемехов [1]. Так, например, при пахоте супесчаных дерновоподзолистых почв, содержащих в себе большой процент песчаной пыли, наиболее интенсивно изнашивается носовая часть лемеха (затупление носка и лучевидный износ) [15]. Глины и прочие компоненты вторичного происхождения, обладающие значительно меньшей абразивной способностью, приводят к затуплению лезвия и образованию затылочной фаски.

Изнашивающая способность почвы зависит не только от ее состава и состояния, но и от материала рабочих органов, а также от способа их воздействия на почву [1, 2, 4]. Изнашивающие свойства почвы и износ разных частей лемехов должны рассматриваться как взаимозависимые факторы. При этом, очевидно, что та почва обладает большей изнашивающей способностью, в которой больше частиц, наносящих микротрещины и микроцарапины на рабочую поверхность лемеха. А это зависит не только от количества, размеров, формы и твердости частиц,

но и от того, с каким давлением и частотой они действует на лемех. Давление же частиц зависит от того, как прочно они закреплены в почве, а это обусловливается твердостью последней. При повышении твердости почвы от 0,8 до 2,8 МПа интенсивность изнашивания носка лемеха возрастает от 0,4 до 1,7 мм/га [16].

Характер деформирования почвы и величина сил, действующих на детали плуга при передвижении его в почвенной среде, тесно связаны с глубиной пахоты, механическими свойствами, влажностью и плотностью почвы [17]. При вспашке, под действием лемеха, подрезанный пласт почвы сминается и уплотняется, при уплотнении происходит сближение и зацементирование частиц, возрастает количество точек контактирования почвы с рабочей поверхностью детали. Продолжительность процесса уплотнения, как и степень контактирования почвы с металлом, зависит от физико-механического состава почвы и скорости ее резания.

Влажность почвы определенным образом влияет на величину и характер износа. При пахоте почвы повышенной влажности подрезанный пласт, передвигаясь по корпусу, на определенном участке сохраняет свою форму. В этот период создаются самые большие давления пласта нижним углом на носовую часть лемеха со стороны полевого обреза. Усилия эти возрастают по мере приближения пласта к месту на корпусе, где происходит его деформирование. Так при пахоте супесчаных почв влажностью 2,8...4 % лемеха изнашиваются по ширине, а влажностью 9,4...12% – по толщине в носовой части вплоть до протирания в области лучевидного износа. С увеличением влажности глинистых почв и снижается эффективность самозатачивающихся лемехов, образуется затылочная фаска.

При анализе всего многообразия факторов, влияющих на износ, практически можно выделить два главных, легко поддающихся количественной оценке:

- 1) гранулометрический состав почвы, определяющий ее абразивную агрессивность и связность;
- 2) материал, из которого изготовлен почвообрабатывающий орган.

При изменении одного из этих факторов, несомненно, будет изменяться интенсивность, форма и расположение износа.

Другие факторы, характеризующие почву, например влажность, коэффициент трения, необходимо считать побочными, так как их действие может быть выражено через действие двух главных факторов. Так, изменением влажности обусловлено изменение плотности почвы, а это приводит к изменению давления, действующего на данный участок лезвия.

1.2 СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПЛУЖНЫХ ЛЕМЕХОВ

Увеличению долговечности плужных лемехов, посвящено большое количество исследований, основной концепцией которых является повышение их износостойкости [18, 19]. Хотя, помимо износа, долговечность может лимитироваться и другими факторами: образованием трещин, изломами, изгибами и скручиванием].

В России плужные лемеха изготавливают из специальной лемешной стали (Л50, Л53, Л56), повышение износостойкости которой добиваются закалкой со стороны лезвия на ширину 20...30 мм до HRC 47...49. Часто применяют наплавку твердым сплавом «Сормайт-1» с тыльной стороны [20]. По геометрической форме в плане лемеха, применяемые для вспашки, делят на трапециевидальные и долотообразные, причем предпочтение отдается последним, так как они лучше заглубляются и обеспечивают более устойчивую работу плуга [21, 22]. Однако, устоявшаяся технология производства и упрочнения не позволяют значительно увеличить износостойкость детали, особенно при пахоте на песчаных и супесчаных почвах Юго-Западного региона Нечерноземной зоны Российской Федерации [23] и тем самым повысить ее долговечность. Это усугубляется наличием абразивного изнашивания, особенно в локальных зонах плужного лемеха.

По мнению [24, 25, 26, 27] основными тенденциями повышения износостойкости рабочих органов являются: применение двухслойного проката и износостойких материалов; изменение формы при конструировании; упрочнение различными способами, в частности наплавкой твердых сплавов. Однако эти направления не всегда могут привести к оптимальному решению задачи по

увеличению долговечности детали. Вследствие этого необходимо продолжить поиски рациональных методов увеличения ресурса лемехов, отличающихся технологической простотой и учитывающих геометрию износа.

Между тем отсутствует сколько-нибудь полный анализ методов повышения долговечности плужных лемехов. Поэтому такой анализ с критическими замечаниями приведен ниже. В работе предлагается следующая классификация способов повышения долговечности, а более конкретно, износостойкости плужных лемехов: при изготовлении, при конструировании и технологические.

1.2.1 ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПЛУЖНЫХ ЛЕМЕХОВ ПРИ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИИ

На стадии изготовления плужных лемехов предлагается применять следующие способы упрочнения (рисунок 1.1): использование материаловедческих методов; изготовление лемехов из многослойного материала; применение упрочняющих технологий при изготовлении.



Рисунок 1.1 – Методы повышения износостойкости при изготовлении

1.2.1.1 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Как известно, для придания лемеху необходимой прочности и износостойкости, он должен быть изготовлен из стали с содержанием углерода не ниже 0,4 %. В этом случае увеличение износостойкости стали металлургическими методами может быть достигнуто: легированием 1...3 % марганца или кремния; введением карбидообразующих элементов (Cr, W); повышением содержания углерода [28].

Зарубежные фирмы («Rabewerk», «Frank», «Huard», «Kverneland», «Case») изготавливают лемеха из среднеуглеродистых низколегированных маргонцовистых и кремне-марганцовистых сталей, с технологическими добавками бора, титана, алюминия.

В данном случае, увеличение износостойкости, происходит благодаря упрочнению феррита при растворении в нем Mn (до 1,5 %) и (или) Si (до 2 %). Микролегирование B, Ti и Al проводится для увеличения прокаливаемости и измельчения зерна, так как эффект упрочнения закрепляется местной изотермической закалкой. Однако, наличие в закаленной среднеуглеродистой стали остатков нерастворенного при нагреве феррита, способствует снижению износостойкости. Кроме того, помимо усложнения технологии, следует быть осторожным при использовании бора, повышенное содержание которого может привести к снижению ударной вязкости [29].

Испытания лемехов из стали 35Г2, 55С2, 65Г показали, что их износостойкость незначительно превысила износостойкость стали Л53. Таким образом это не оправдывает применения данных сплавов [8, 18, 19, 25].

В Европе для изготовления плужных лемехов применяют среднеуглеродистые стали без термической обработки (твердость 17...25 HRC) [17]. Подобные материалы недороги, широко распространены, но выбором марки стали, которая была бы дешевой при производстве, трудно существенно повысить срок службы деталей [29].

Американские и канадские фирмы используют инструментальные угле-

родистые стали эвтектоидного и заэвтектоидного состава [19]. Повышение износостойкости достигается изотермической закалкой или местной термообработкой. Однако, в случае перегрева заэвтектоидных сталей при нагреве под закалку это свойство может существенно понижаться, кроме того процесс термообработки достаточно сложен [29].

Введение в сплавы карбидообразующих элементов (Cr, W), хотя и позволяет повысить твердость металлической матрицы, как правило, удорожает стоимость продукции, и производство такого материала для массово изготавливаемых изделий зачастую становится экономически невыгодным. Чрезмерное количество карбидов меняет механизм изнашивания материала, так как в определенных случаях карбиды выкрашиваются, а не истираются. Применение износостойких хромистых сталей ХФ, ХГ, ШХ15, Х6Ф1, Х12Ф1 взамен серийной лемешной стали Л53 не дало ожидаемых результатов [8, 25, 30]. Лемех из абразивностойких сталей изнашивается медленнее, но затупляется гораздо быстрее, чем серийный, что приводит к повышению тягового сопротивления и предельному состоянию лемеха при незначительном (до 10...15 мм) износе лезвия по ширине [31].

В [32], лемеха предлагается изготавливать из стали с содержанием углерода 0,8...1,4 % и марганца 10...15 % с последующей закалкой от 1000...1050° С для получения аустенитной структуры, упрочняемой в процессе эксплуатации в результате наклепа. При хорошей износостойкости материала достаточно невысокие технологические свойства служат фактором, усложняющим изготовление деталей из этих сталей, так как их производство возможно только литьем.

Предлагалось изготавливать лемеха литьем из чугуна: серого, высокопрочного, комплексно-легированного белого, аустенитного марганцовистого, модифицированный церием (АМЧ8Ц, АМЧ8Ц, АМЧ11Ц) и мартенситного [18, 19, 29, 33, 34, 35, 36, 37, 38].

Помимо усложнения технологии производства лемехов из этих материалов, чугуны имеют ряд недостатков. Механические свойства чугунов в большей степени зависят от формы и размеров графитовых включений. Находясь в сво-

бодном состоянии, графит нарушает сплошность металлической матрицы, снижает пластичность и ударную вязкость чугунов при относительно хорошей прочности [28, 29]. Лемеха из белого чугуна из-за наличия в структуре цементита, имеющего твердость около 800 НВ, хрупки, и не пригодны к восприятию даже незначительных ударных нагрузок. Изменение свойств чугуна модифицированием или легированием повышает их износостойкость в 2...3 раза по сравнению с традиционными материалами, но не обеспечивает достаточной прочности деталей, особенно при ударных воздействиях [28, 35]. Поэтому лемеха, изготовленные из чугунов могут применяться лишь для почвообрабатывающих деталей с толсторежущей кромкой, не испытывающих динамических нагрузок, что при пахоте фактически исключено [2, 39]. Более того, конструкция корпуса плуга не приспособлена для использования лемехов из такого хрупкого материала как чугун.

Литые лемеха также получали из конверторной стали с добавкой 10 % чугуна. Кроме этого лицевая сторона лезвия лемеха легировалась твердым сплавом «Сормайт-1», который в виде порошка засыпался в форму перед ее заполнением. Лезвия лемехов закалены т.в.ч. до твердости 500...600 НВ. Более высокий срок службы в данном случае связан, по-видимому, с наличием на лезвии легированного слоя высокой износостойкости, ширина которого на носке лемеха значительно больше, чем ширина зоны закалки у стандартного лемеха. Литые лемеха значительно толще стандартных и тяжелее их на 1,5...2 кг [18], что приводит к увеличению тягового сопротивления. Технология изготовления литых лемехов более сложна и трудоемка, чем традиционная, что в конечном итоге приводит к увеличению себестоимости их изготовления.

1.2.1.2 ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОСЛОЙНОГО ПРОКАТА

Ряд авторов считает, что для работы на супесчаных и суглинистых почвах наиболее перспективно изготовление рабочих органов из двухслойного проката [19, 40, 41]. Ресурс опытных лемехов по линейному износу превышает ресурс серийных более чем в 1,3 раза [40].

Лемеха производили из полосы (Сталь 30) с местной плакировкой сталями 50С2, У12 и ШХ15, обеспечивающих их самозатачивание при формах, получаемых в фасонной полосе без механической обработки. Слой толщиной 3 мм и шириной 60 мм закаливался на твердость 550...800 НВ. По этому же пути пошли некоторые немецкие фирмы, изготовив лемеха из двухслойного проката типа сталь Л53+Х6Ф. Установлено, что двухслойные лемеха целесообразно применять на тех же почвах, где и самозатачивающиеся, то есть на непесчаных и некаменистых [17, 19].

Для уменьшения содержания легирующих элементов в плакирующем слое и увеличения его пластичности предлагалось применять низколегированные стали для плакирующего слоя и низкоуглеродистые – для основного (Сталь Л53 + Х12; Сталь 10 + 9ХФ) [24].

Однако технология проката биметалла трудоемка вследствие значительного различия в сопротивлении деформации обеих сталей. В процессе изготовления биметаллического проката пока еще не удается избежать таких дефектов, как неравномерность толщины плакирующего слоя в готовой полосе и расслоение полосы на отдельных участках [42, 43]. Кроме того, внедрение биметаллических лемехов ограничено узким составом почв [17].

1.2.1.3 ПРИМЕНЕНИЕ УПРОЧНЯЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ

Считается, что наиболее эффективным способом получения деталей высокой долговечности и прочности является придание детали слоистого строения с большим различием износостойкости слоев, обеспечивающего стабилизацию работоспособной формы путем ускоренного изнашивания одного слоя при замедленном изнашивании второго слоя («эффект самозатачивания»). Назначение более мягкого слоя – обеспечение прочности, поэтому этот слой называется «несущим». При его достаточной пластичности второй слой («режущий») может быть изготовлен из материала со сравнительно низкой прочностью и повышенной износостойкостью [44, 45].

Способ формирования «самозатачивающегося лемеха» применяется для изготовления серийных лемехов [19, 34]. Однако, самозатачивающиеся лемехи трудоемки в изготовлении из-за сложности процесса равномерного нанесения биметаллической наплавки, так как толщина слоя «Сормайта» трудно регулируется при наплавке. Эксплуатационным недостатком является различная износостойкость носовой части и лезвия лемеха. Кроме того «Сормайт-1» содержит большое количество дефицитных легирующих элементов – хрома и никеля (состав: 3,0 % С; 25 – 30 % Cr; 1,5% Mn; 3...5 % Ni; 3 % Si). В процессе эксплуатации выяснилось, что самозатачивание наблюдается лишь в отдельных случаях при определенных условиях [2, 24, 44, 46]. Рабочие органы с наплавкой из «Сормайта» твердостью 600 НВ можно успешно использовать на глинистых, суглинистых, торфянистых почвах. На влажных почвах двухслойное лезвие «перезатачивается» с последующим обнажением и изломом хрупкого «режущего» слоя, а на твердых сухих почвах преждевременно затупляется, что приводит к необходимости преждевременной выбраковки лемеха, имеющего еще значительный запас неизношенного наплавного слоя. При обработке почв с большим содержанием кварцевых частиц износостойкость «Сормайта» сравнительно мало отличается от износостойкости закаленной стали Л53 [1, 2, 17].

Упрочнение лемехов путем наплавки твердых сплавов в США и странах Евросоюза не получило широкого распространения [17, 47]. Причина этого заключается, по-видимому, в меньшей годовой загрузке машин и в меньшей важности смены рабочих органов в период их эксплуатации.

При индукционной наплавке используется «Сормайт-1», смешанный в разных частях с феррохромом [2, 17, 48]. При упрочнении необходимо обеспечить равномерное формирование слоя твердого сплава толщиной до 2,0 мм, что требует решения ряда вопросов: значительная длина лезвия при переменной ширине упрочняемой поверхности и различие в толщине детали требуют специальных мер по обеспечению равномерности нагрева с целью

предупреждения увеличенного коробления поверхности; пережог основного металла; высокая энергоемкость и нестабильность процессов; экологические проблемы [1, 17].

Термическая обработка является одним из самых распространенных способов повышения прочности материалов. Однако традиционная закалка (нагрев с последующим резким охлаждением в воде) зачастую не дает требуемого эффекта, так как по ТУ закалка производится лишь со стороны лезвия, на высоту 20...30 мм, в тоже время материал носка остается фактически незакаленным, что приводит к интенсивному износу этой области [49]. Кроме того, при закалке деталей из среднеуглеродистой стали необходимо обратить внимание на то, чтобы нагрев кромки лезвия не отставал от нагрева основной массы металла, и охлаждение производилось немедленно во избежание выделения феррита [1, 18, 29]. В настоящее время при производстве лемехов зачастую применяют усовершенствованную термическую обработку, проводимую за счет остаточного нагрева после индукционной наплавки лезвия [17], что снижает прочность носовой части, приводя к изгибам и разрушениям.

Применение изотермической закалки, несмотря на ее значительные преимущества по-сравнению с традиционной (отсутствие коробления), увеличивает время изготовления и требует применения специальных охлаждающих сред (расплавы солей) [50].

Для повышения износостойкости рекомендуется производить отбел поверхностного слоя – лицевой части лемеха [29]. Так в Англии выпускается большое количество лемехов из серого чугуна с отбеленным снизу лезвием [18, 19]. Применение поверхностного отбела чугунных лемехов увеличивает их сопротивление изнашиванию, однако сам материал по-сути не предназначен для изготовления почвообрабатывающих орудий. Работы по самозатачивающимся чугунным лемехам с отбеленной лицевой стороной лезвия показали, что они непригодны для вспашки почв средней и высокой твердости [39].

1.2.2 МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ

Увеличение ресурса плужных лемехов при конструировании достигалось следующими путями (рисунок 1.2): изменением геометрической формы; постановкой сменных элементов; корректировкой угла заточки; приданием лезвию пилообразной (зубчатой) формы и формированием ребер жесткости.



Рисунок 1.2 – Методы упрочнения, основанные на изменении конфигурации

1.2.2.1 ИЗМЕНЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ЛЕМЕХА

Наиболее простым по конструкции является трапецеидальный лемех, лезвие которого параллельно спинке. Существенным его недостатком является быстрая утрата заглубляющей способности и, как следствие, резкое снижение равномерности хода плуга по глубине [17, 21].

Долотообразный лемех имеет выступающую перед лезвием носовую часть, обеспечивающую локальную деформацию почвы и заглубление лемеха. С тыльной стороны в зоне лезвия и носка лемех имеет запас металла («магазин»), предназначенный для оттяжки металла в зону износа при ремонте. По эксплуатационным показателям и ресурсу они существенно превосходят трапецеидальные лемеха [21]. Недостаток – износ носка лемеха происходит значи-

тельно быстрее износа его лезвия. Предельное состояние определяется по износу носка, т.к. из-за этого происходит выглубление плуга, либо вследствие образования лучевидного износа [15].

Для компенсации усиленного износа носка лемеха при практически неизношенном металле остова была предложена конструкция оборотного лемеха (трапецеидальный симметричный с обрезанным носком) [51, 52]. Толщина лезвия (3...3,5 мм) и угол заточки (18...20°) позволяют при работе на суглинистых почвах, по мере износа носка и образования затылочной фаски представлять его с поворотом на 180° и вводить в работу менее изношенные носок (пятку) и режущую кромку, которые образуются вследствие обратной самозаточки лезвия в почве. Благодаря неоднократным перестановкам лемех может работать без ремонта до достижения предельного состояния по носку и лезвию.

Зарубежные фирмы выпускают долотообразные лемеха, несколько отличающиеся по своей конструкции от отечественных. Практически у всех разновидностей повышение износостойкости достигается увеличением толщины в области носка [17, 21].

У ряда лемехов (фирма «Rabewerk») лезвие не заточено и имеет толщину режущей кромки 4...5 мм. Износостойкость повышена как за счет утолщения новой части, так и за счет ее упрочнения твёрдым сплавом толщиной 1,5...2 мм, который наносят на лицевую и тыльную поверхности носка лемеха «намораживанием».

Как отмечалось, достаточная прочность лемехов зарубежных фирм достигается за счет соответствующего объема металла в наиболее нагруженной носовой части, что в свою очередь приводит к увеличению их металлоемкости и росту стоимости. В силу чего значительное повышение ресурса рабочего органа, модернизацией его формы в современной экономической ситуации, сложившейся в АПК не реально.

1.2.2.2 ПРИМЕНЕНИЕ СМЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Наиболее быстроизнашивающиеся в процессе эксплуатации элементы лемеха (лезвие или носок) предлагалось изготавливать сменными (составные лемеха) [17, 18, 19, 46].

Для работы на легких и средних почвах была разработана конструкция составного трапецидального лемеха со сменным лезвием, изготовленного из стали X12Ф1 и закрепляемого с помощью заклепок с потайными головками [17, 18, 19, 46] (рисунок 1.3, а). Помимо всех недостатков, присущих лемехам трапецидальной формы, лезвия недостаточно прочны для работы на твердых почвах даже при толщине 3,5...4 мм. Их приходится периодически затачивать или преждевременно заменять новыми вследствие быстрого износа носка при сравнительно небольшом износе на остальной части лезвия. Еще одним недостатком данной конструкции является способ крепления лезвия, усложняющий технологию изготовления. Кроме того, материал крепежных деталей, будучи менее износостойким, чем материал лезвия, ограничивает наработку.

Конструкция лемеха со сменным накладным носком состоит из двух элементов: обычного трапецидального лемеха и накладного носка из стали 55С2, крепление которого к корпусу лемеха осуществляется двумя заклепками диаметром 8 мм (рисунок 1.3, б). Лемех предназначен для работы на тяжелых и песчаных почвах, засоренных камнями. Данная конструкция имеет следующие недостатки: необходимость механической обработки достаточно протяженных составных поверхностей; низкая надежность крепления; сложность в получении безззорной стыковки носка с остовом. Оба типа составных трапецидальных лемехов не получили распространения [17, 18, 19, 46].

Идея замены быстроизнашивающейся части (носка) лемеха привела к конструкции лемеха со сменным долотом. Долото может накрывать лемех (накладное долото) или устанавливаться рядом с лемехом в одной плоскости с ним (составной лемех). Толщина долота и его прочность выше, чем у носка лемеха. До полного износа лемеха используется в среднем два-три сменных долота.

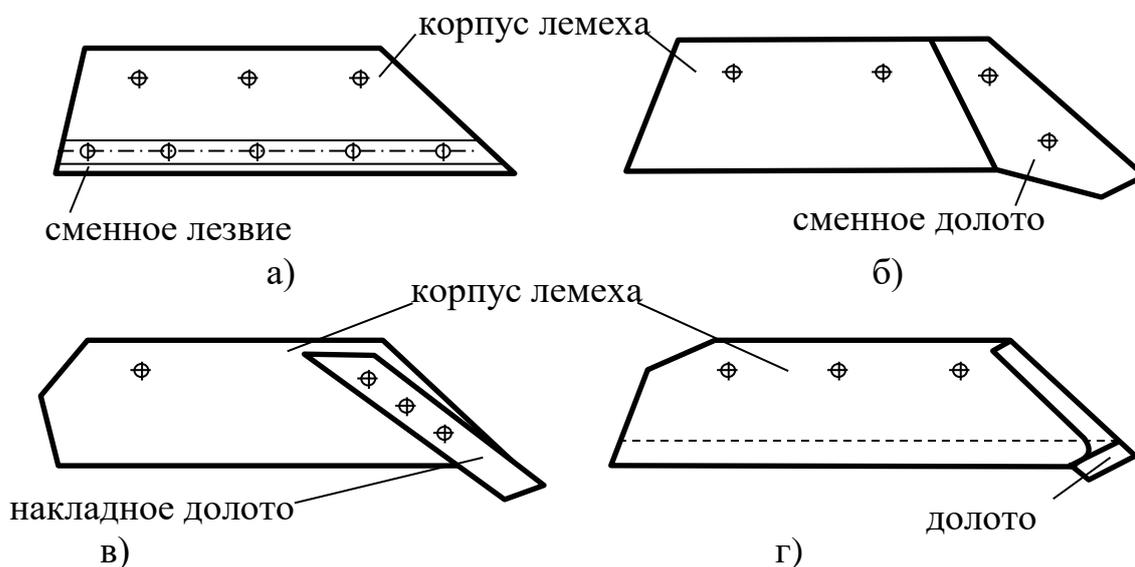


Рисунок 1.3 – Конструкции плужных лемехов: а) со сменным лезвием; б) со сменным носком; в) с накладным долотом фирмы «Huard»; г) с приваренным долотом фирмы «Raba»

Составной полосовой долотообразный лемех со сменным приставным долотом состоит из корпуса с лезвием и приставного долота, которое крепятся отдельно к башмаку с помощью болтовых соединений [17, 18, 19]. На плуге ПН-2-35А вместо цельных долотообразных лемехов устанавливаются удлиненные, достаточно точные долота и впритык к ним – трапецеидальные лемехи [53]. Большое количество плугов ведущих европейских фирм применяет подобную конструкцию [17].

К недостаткам составных долотообразных лемехов относятся: необходимость беззазорной стыковки приставного долота и корпуса лемеха и, как следствие, необходимость механической обработки поверхностей; пониженная прочность носовой части, обусловленная разделением долота и корпуса лемеха и их раздельным креплением к башмаку; необходимость изменения конструкции башмака и стойки у серийных плугов, а также повышенный, в конечном счете, расход металла, вызванный двух- и более кратной заменой приставного долота.

Лемеха фирм «Huard» (Франция), «Overu», «Kverneland» (Норвегия) включают трапецевидную часть и накладное обратное долото, изготавливаемые из полосового проката. [17] (рисунок 1.3, в).

Наиболее существенным недостатком лемехов с накладным долотом яв-

ляется повышенное, по сравнению с гладкими лемехами, тяговое сопротивление и, как следствие, повышенный расход топлива при вспашке. Это связано с тем, что выступающее над поверхностью лемеха долото дополнительно деформирует подрезанный почвенный пласт и иногда захватывает и удерживает растительные корневые остатки.

Конструкция лемеха с выдвижным долотом предусматривает компенсацию опережающего износа носовой части поэтапным, по мере износа, выдвижением долота из корпуса плуга. Долото устанавливается в специальном наклонном фрезерованном пазе, размещенном в башмаке и имеет набор крепежных отверстий, совмещаемых при выдвижении с отверстием в корпусе. В боковой части долота имеется продольный паз, захватывающий носок трапецидального лемеха [17, 54]. Эта конструкция не получила широкого распространения из-за сложности и высокой стоимости, связанной с необходимостью механической обработки всех подвижных контактных поверхностей. Кроме того, при эксплуатации лемеха этой конструкции также происходит захват и удержание растительных остатков, что приводит к повышению тягового сопротивления и снижению устойчивости хода плуга по глубине.

Предприятия «Raba» (Венгрия) изготавливает гладкий долотообразный лемех вырубкой из полосового проката среднеуглеродистой марганцовистой стали без термической обработки (HRC 10...12) с последующей приваркой к остову небольшого (шириной 15 мм) долота из Ст 10кп [17] (рисунок 1.3, г). Лезвие лемеха наплавлено с тыльной стороны, а полевой обрез и долотообразный выступ – с лицевой стороны твердым сплавом (6 % Cr; 10 % Ti) лежачим электродом. В результате долотообразный выступ оказывается наплавленным с двух сторон. Недостатками данной конструкции являются: усложнение технологии изготовления; повышение износостойкости за счет карбидов дефицитного титана; крепежное отверстие круглой формы требует организации производства специального крепежа.

Опыт применения сменных элементов, позволяющих увеличить долговечность лемеха, не принес ожидаемых результатов и, по мнению [17], опти-

мальной следует считать конструкцию цельного долотообразного лемеха, изготовленного обработкой давлением.

1.2.2.3 ИЗМЕНЕНИЕ ФОРМЫ ЛЕЗВИЯ

У серийных лемехов отечественного производства лезвие затачивают со стороны рабочей поверхности (сверху). Угол заточки $\alpha = 25 \dots 30^\circ$, угол резания $\beta = 30^\circ$. Толщина лезвия после заточки должна быть не более 1 мм [22]. Такое значение параметров лезвия, установленное В.П. Горячкиным, считается оптимальным для соотношения процессов заглубления и крошения подрезаемого пласта.

При пахоте на суглинистых черноземах Западной Сибири, по мнению [51], лезвие целесообразно затачивать на $18 \dots 20^\circ$, при его толщине 3...3,5 мм. Это позволило увеличить межремонтный срок службы лемехов П-702А на некаменистых почвах в 1,6...1,8 раза.

Авторы [31, 53] утверждают, что необходимо корректировать угол заточки и «...выполнив лемех пространственно изогнутым, с «пологим» лезвием и «крутым» носком, можно получить оптимальную конструкцию, сочетающую практически всегда острое лезвие на большей части лемеха и его хорошую заглубляемость». Была разработана конструкция долотообразного лемеха П-702 с плавно изменяющимся по длине углом заострения лезвия равным 18° в носовой и 13° в средней и пяточной частях, получаемого методом горячего вальцевания [46].

Однако пространственно-изогнутый лемех с переменным по длине углом резания дороже плоского в изготовлении и в 1,3...1,5 раза превосходит его по массе. Кроме того, угол заточки лемеха следует определять с учетом почвенно-климатических условий вспашки.

Зубчатые лемеха имеют три выступа в виде долотцев, прикрепленных к трапецидальному лемеху с помощью болтов или выполненные вместе с ним. Для использования рекомендуется различные конструкции [18, 55, 56].

Применение зубчатых лемехов уменьшает тяговое сопротивление плугов, что объясняется предварительным скалыванием грунта межзубовым простран-

ством. Качество пахоты зубчатыми лемехами хорошее, дно борозды ровное. В то же время носковый зуб изнашивается значительно быстрее, чем второй и третий зуб. Зубчатые лемеха не нашли применения из-за повышенной металлоемкости и недостаточной работоспособности, связанной с забиванием промежутков между зубами глыбами почвы и растительными остатками [17, 57].

Известен зубчатый лемех, получаемый наплавкой на лицевую поверхность лезвия твердых сплавов не сплошным слоем, а в виде полос, расположенных с определенным шагом и под определенным углом к направлению движения режущего органа [19, 58, 59]. В процессе работы такого лезвия связывающий сплав изнашивается быстрее, чем зерна твердого сплава, и они выступают своими гранями, образуя острую пилообразную режущую кромку. Формировать подобный профиль можно точечным импульсным электроконтактным нагревом [60], дуговой точечной наплавкой (точечным упрочнением) [61], либо проводя прерывистое упрочнение лезвия керамикой [62].

Недостатком подобных лемехов является снижение прочности лезвия вызванное наличием термических концентраторов напряжений при поэтапном нанесении твердосплавных точек на лезвие и наличие затылочной фаски. Несмотря на повышение износостойкости вследствие стабилизации профиля в процессе работы, их целесообразно применять при пахоте почв без наличия камней и незначительными включениями песка.

1.2.2.4 ФОРМИРОВАНИЕ РЕБЕР ЖЕСТКОСТИ

Формирование на тыльной [63, 64] или рабочей стороне [65] лемеха ребер жесткости вызвано снижением прочности носовой части по следующим причинам: повышение изгибающего момента от действия силы сосредоточенной на конце носка; невозможность соблюдения технологии термической обработки, проводимой за счет остаточного нагрева после индукционной наплавки; возникновение дополнительных нагрузок на лемех при увеличении скорости вспашки [17]. Формирование ребер жесткости усложняет технологию изготовления, повышает металлоемкость изделия и не приводит к повышению износостойкости.

1.2.3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ

Повышение долговечности применением технологических методов может быть реализованы следующими путями: нанесением износостойких покрытий различными способами; изменением структуры материала посредством термической обработки и армированием поверхности детали (рисунок 1.4). Причем наибольшее количество исследований посвящено способам нанесения износостойких покрытий [2, 17, 19, 45, 46, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72].

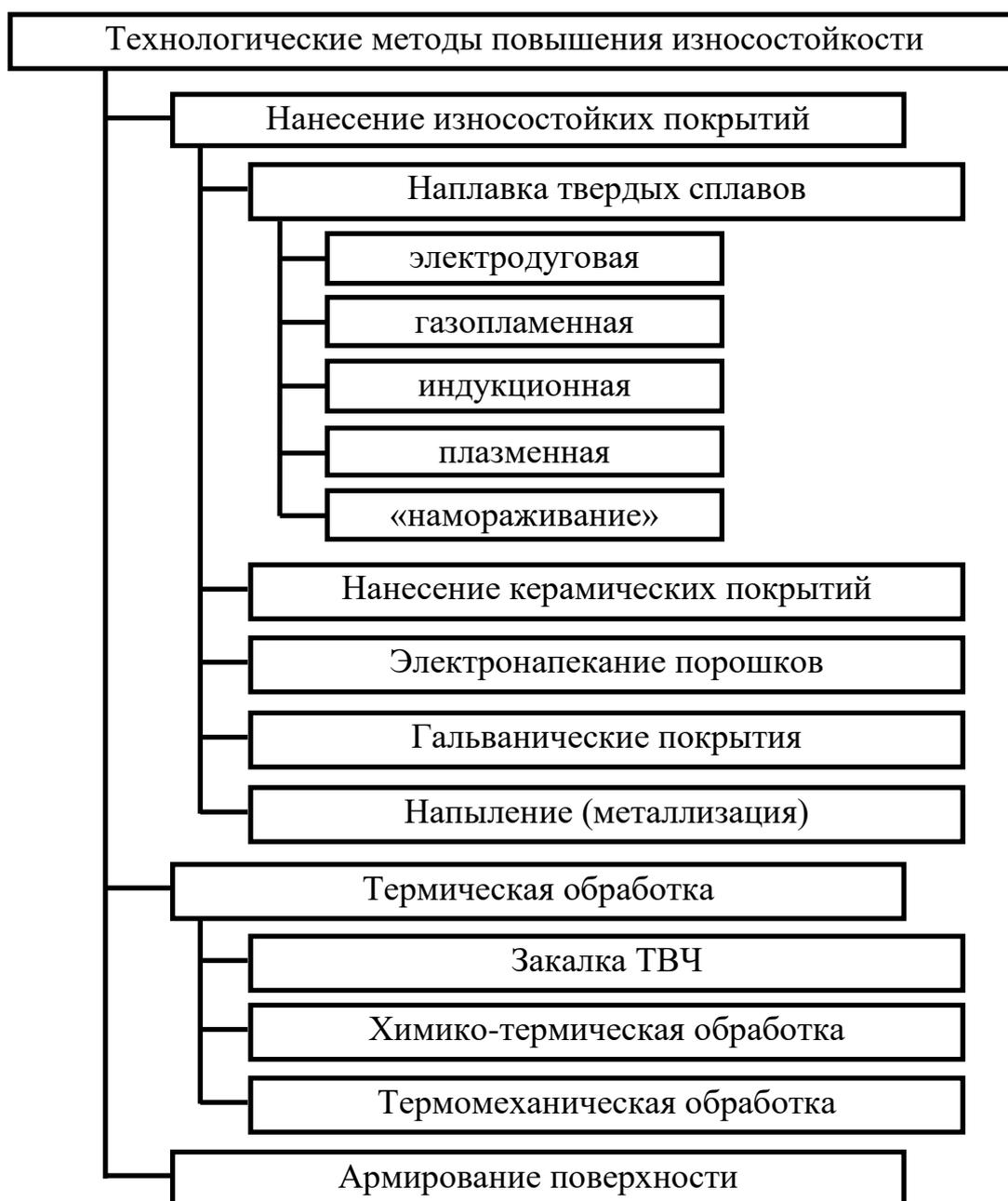


Рисунок 1.4 – Методы повышения износостойкости плужных лемехов

1.2.3.1 НАНЕСЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ

Наиболее часто для упрочнения плужных лемехов используют различные виды наплавки: электродуговую, газопламенную, индукционную, плазменную, «намораживанием» [2, 17, 19, 45, 46, 67, 68, 69, 70], что вполне объяснимо, так как в результате такого технологического воздействия возможно получение слоев требуемой толщины и свойств. Общими недостатками наплавочных способов являются: сильные термические воздействия, приводящие к изменению размерной стабильности детали и безвозвратным потерям дорогостоящих легирующих элементов износостойкого электродного материала; сквозное проплавление, приводящее к дополнительному расходу электроэнергии и выгоранию металлов, обеспечивающих упрочняющий эффект; повышение хрупкости из-за структурных изменений, приводящее к снижению сопротивляемости к трещинообразованию и разрушению.

При электродуговой наплавке лезвия применяют электроды ЭН-ИТС-01, Т-590, Т-620, ЦН-29 и получают покрытия твердостью 55...70 НРС. Наплавка порошковыми проволоками ПП-АН-125, ПП-АН-123 и порошковой лентой ЛС-У10Х7ГР позволяет повысить ресурс детали в 1,5...2,0 раза по сравнению с серийной [8, 19, 24]. Основными недостатками являются: высокий процент некачественных покрытий из-за трудности получения равномерного по толщине слоя; возникновение термических деформаций, высокий уровень остаточных напряжений, приводящий к растрескиванию наплавленного слоя.

При газовой наплавке ацетиленокислородным пламенем прутками на основе железа (ПР-С1, ПР-С27), кобальта (ПР-ВЗК, ПР-ВЗКР, ПР-3816К), «Релитом» и «Сормайтом» твердость покрытия достигает 45...60 НРС [8, 19, 24]. Наплавка пропан-бутано-кислородным пламенем сплавом на основе белого чугуна, легированного небольшими добавками хрома или марганца, или обоими элементами также несколько увеличивает износостойкость (наименьший износ имеет сплав с 0,85 % Cr и 1,04 Mn). Однако, в целом, газопламенная наплавка

характеризуется пониженной износостойкостью по сравнению с другими наплавочными способами и сложна в исполнении.

Индукционную наплавку осуществляют сплавами типа «Сормайт», ФБХ-6-2 и ПГС-УС-25 [2]. Наибольшей износостойкостью по результатам лабораторных испытаний [17] обладает последний. Несмотря на ряд преимуществ, данный вид наплавки отличается самой высокой себестоимостью среди наплавочных способов.

Плазменная наплавка износостойкими сплавами ПР-ФБЮ-1-4, ПГ-ФБХ-6-2 [67, 68] позволяет получить покрытие повышенной толщины (до 4,0 мм за один проход) при повышении износостойкости на 50...70 % по сравнению с индукционной наплавкой. Недостатками наплавки сжатой дугой также следует считать высокую стоимость расходных материалов и сложность технологического процесса.

Наплавка «намораживанием» при использовании сплава ФБХ-6-2 позволяет увеличить ресурс детали в 2...3 раза [46, 70, 73]. Но в большинстве случаев, при использовании данной технологии наблюдается плохая сцепляемость покрытия с основным металлом и повышенный износ упрочненной области.

Кроме упомянутых, предлагаются следующие технологии наплавки [19]: механизированная электродуговая по слою легирующего порошка или пасты; пластинчатым электродом по слою порошкообразной шихты ПШ-У40Х301-0; нанесением на режущую кромку износостойкого сплава и флюса в жидком состоянии с последующим сплавлением с основной в печи.

Упрочняют наплавкой в основном лезвие лемеха, нанося покрытие с тыльной стороны, что, по-видимому, связано с возникновением и развитием «эффекта самозатачивания» [34]. Между тем, установлено, что самозатачивание наблюдается лишь в отдельных случаях на определенных типах почв (глинистых и суглинистых). В других случаях, при пахоте на почвах отличного гранулометрического состава наблюдались износы в других областях лемеха (износ носка по высоте и (или) лучевидный износ) [23]. Поэтому рядом авторов поднят

вопрос о локальном упрочнении зон наиболее вероятного износа [2, 17, 45, 46, 67, 74], непосредственно зависящих от типа почвы.

Как видно из вышесказанного, упрочнение рабочих органов наплавочными способами происходит благодаря использованию дорогостоящих твердых сплавов, содержащих большой процент хрома и вольфрама [75]. Рядом авторов, в том числе и за рубежом, по результатам испытаний установлено, что упрочнение твердыми сплавами экономически нецелесообразно, так как повышение стоимости упрочненной детали не компенсируется увеличением ресурса [24, 76].

В 80-х годах прошлого века в ряде стран для упрочнения рабочих органов было предложено использовать техническую керамику на основе оксида алюминия. Вставки из керамики крепили в открытых пазах с помощью эпоксидного клея [45]. При достаточно высокой износостойкости наблюдалась недостаточная стойкость керамики к ударным воздействиям и низкая прочность клеевого соединения. Дальнейшее усовершенствование технологии нанесения керамических материалов наплавкой [62, 71] и пайкой [77] позволило считать это направление перспективным для обработки некаменистых почв. Применение керамических покрытий для упрочнения лемехов повышает их износостойкость и ресурс, в условиях суглинистых почв, в 1,5...2,6 раза по сравнению с серийными лемехами [78]. Помимо высокой стоимости и дефицитности керамических материалов применение упрочненных керамикой рабочих органов для обработки каменистых почв малоэффективно в силу того, что керамические материалы обладают низкой ударной вязкостью, и не могут противостоять динамическим воздействиям при столкновении с каменистыми включениями.

Электронапекание порошковых материалов на рабочие органы почвообрабатывающих машин [24, 72], по-видимому, представляет собой достаточно прогрессивную технологию упрочнения. Однако малоисследованно и поэтому его применение в настоящее время не получило распространение.

В [79] показана целесообразность применения композиционных электрохимических покрытий для повышения долговечности плужных лемехов. Значи-

тельное повышение физико-механические свойства покрытий, в частности износостойкости в 2...2,5 раза, достигается введением легирующих элементов (Ni и Co). Такое повышение износостойкости сомнительно ввиду невысокой толщины наращенного слоя, что приведет к быстрому его истиранию при воздействии абразивных частиц.

Также предлагается повышать износостойкость рабочих органов почвообрабатывающих машин напылением порошковых покрытий из карбидов вольфрама и хрома, окиси алюминия и других материалов при помощи детонационного и плазменного напыления [19, 80]. Расплавленные частицы образуют на поверхности изделия плотное однородное покрытие, по износостойкости превышающее износостойкость стали, хромовых покрытий и в некоторых случаях даже спеченного карбида вольфрама. Помимо высокой стоимости покрытия порошковых материалов, при металлизации часто не удается обеспечить необходимую сцепляемость покрытия и подложки.

1.2.3.2 ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Метод упрочнения лемехов объемной закалкой не обеспечивает значительного увеличения их срока службы и не может служить эффективным средством повышения износостойкости, так как на поверхностях трения преобладает многократное пластическое передеформирование [2]. В связи с опережающим износом носка предлагалось расширение зоны закалки вдоль полевого обреза на ширине до 60 мм [34]. Для обеспечения эффекта самозатачивания использовали одностороннюю закалку с пламенным или индукционным нагревом, химико-термическую обработку [18, 19]. Однако, в условиях мелкосерийного и индивидуального производства метод закалки ТВЧ и химико-термической обработки невыгодны вследствие высокой стоимости как самого оборудования, так и его эксплуатации. По ряду причин практически мало применима в настоящее время в этих условиях и кислородно-ацетиленовая закалка.

Высокотемпературное термомеханическое упрочнение [46], реализованное в процессе горячего вальцевания, позволило за счет ряда материаловедческих факторов (измельчения элементов структуры, увеличение плотности дислокаций) повысить прочностные и износные свойства материала лемеха. Однако, как и для всех упомянутых видов термической обработки, главным недостатком, является то, что их действие ограничивается временем эксплуатации до первого ремонта лемеха, так как, термические воздействия при восстановлении, сводят на нет все усилия, затраченные на упрочнение. При невысокой стоимости, по сравнению с наплавочными методами упрочнения, термическая обработка все же не приносит необходимого увеличения износостойкости лемеха.

1.2.3.3 АРМИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ

В последнее время для увеличения ресурса плужных лемехов находят применение методы армирования контактирующих с абразивной средой поверхностей [81]. Армирование заключается в повышении износостойкости рабочей поверхности лемеха введением дополнительных элементов при помощи следующих технологических способов: наплавочное армирование; точечное термическое армирование; армирование пластическим деформированием.

Сущность наплавочного армирования заключается в нанесении валиков различной конфигурации и расположения либо на всю переднюю поверхность лемеха, либо в области наиболее вероятного износа.

Известны четыре варианта наплавочного армирования, которые в той или иной мере были исследованы [82] (рисунок 1.5).

Наплавка валиков осуществлялась электродами Э-46-МП-3М-4,0-УО постоянным сварочным током обратной полярности силой 140 А. Лучшие результаты после предварительных эксплуатационных испытаний показала технология по варианту «а» – наработка 18...20 га (рисунок 1.5, а), при наработке лемехов в состоянии поставки 8...10 га. Второй результат показал способ по варианту «г» – 13...15 га (рисунок 1.5, г). Испытания велись на супесчаных дерново-

подзолистых почвах с глинистыми включениями около 15 %.

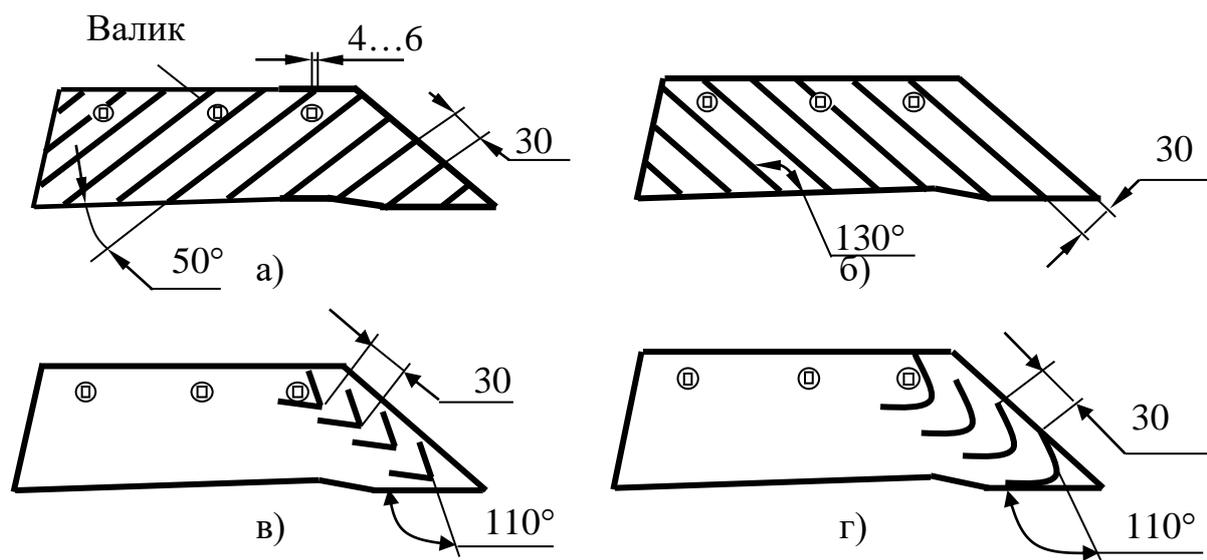


Рисунок 1.5 – Схемы наплавочного армирования плужных лемехов: а) нанесение валиков перпендикулярно скосу носка или под углом 50° к лезвию с расстоянием между ними 30 мм; б) нанесение валиков под углом 130° к режущей части или параллельно скосу носка с расстоянием между ними 30 мм; в) нанесение V-образных валиков в зоне образования лучевидного износа; г) нанесение валиков форме полуэллипса в зоне образования лучевидного износа

За оптимальный вариант упрочнения была принята технология армирования по схеме «а» (рисунок 1.5, а) [83, 84]. Однако, на песчаных и супесчаных почвах наплавка валиков по всей рабочей поверхности лемеха нецелесообразна, так как у 84 % лемехов основным дефектом, определяющим работоспособность детали, является образование лучевидного износа в области носка [15]. То есть, при пахоте на данном типе почв нет необходимости армирования всей рабочей поверхности. Кроме того, при упрочнении поверхности лемеха наплавкой валиков перпендикулярно полевому обрезу возможно термическое воздействие на деталь, способное вызвать ее значительное коробление.

Помимо этого имеют место некоторые технологические сложности: для снижения коробления наплавка валиков осуществляется одновременно на четырех-пяти лемехах; требуется жесткое соблюдение термического цикла при

наплавке. Таким образом, данный метод [83] позволяет получить высокую износостойкость по всей рабочей поверхности лемеха, что не всегда требуется, учитывая особенности износа на различных почвах из-за потери геометрических размеров на локальных участках.

При пахоте на песчаных и супесчаных почвах, обладающих высокой изнашивающей способностью – до 260 г/га [15, 14], происходит закругление носка, образование лучевидного износа и незначительное изнашивание пятки лемеха [15, 23]. Поэтому следует уделять большое внимание повышению износостойкости именно этих зон, что, по мнению [85], возможно, осуществить комбинированным упрочнением плужных лемехов, в той или иной мере сочетающее в себе нанесение валиков на рабочую поверхность с термической обработкой. Предлагаются пять различных вариантов [85]: непрерывным нанесением валиков с наплавкой носка до 50 мм; непрерывной наплавкой валиков с последующим охлаждением всего лемеха на воздухе; наплавкой валиков с 10 минутным интервалом на остывание каждого третьего валика; наплавкой валиков с одновременным охлаждением каждого водой и обваркой контура носка лемеха; непрерывным нанесением валиков с наплавкой носка до 100 мм и последующей закалкой в воде.

По результатам предварительных полевых испытаний на песчаных и супесчаных почвах с мелкими гравиеобразными включениями лучший результат показала технология комбинированного армирования по последнему варианту (рисунок 1.6).

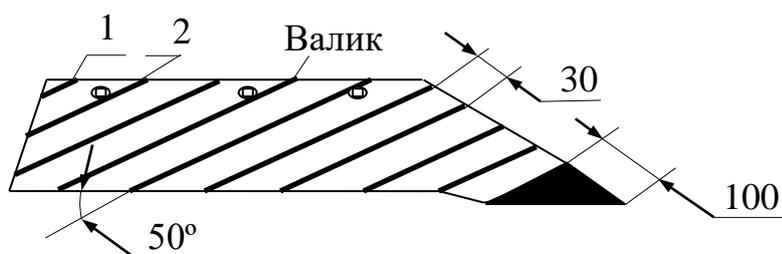


Рисунок 1.6 – Схема комбинированного упрочнения плужных лемехов непрерывным нанесением валиков с наплавкой носка до 100 мм и последующей закалкой в воде (цифрами указана на последовательность нанесения упрочняющих валиков)

Данный способ армирования обеспечивает максимальную наработку 18,3 га при износе носка 1,96 мм/га. Тем не менее, помимо возникновения остаточных напряжений возникающих в результате термического воздействия на деталь и приводящих к короблению, данная технология усложнена введением дополнительных операций (заплавка носка, закалка), что может создать определенные трудности при реализации технологического процесса армирования, и повысит стоимость упрочненного лемеха.

Таким образом, методы наплавочного армирования требуют дальнейшего совершенствования по многим вопросам, в частности, учета специфики износа при пахоте на почвах с различным гранулометрическим составом, выбора оптимальных режимов нанесения упрочняющих валиков, оценки влияния армирования на энергетические показатели пахотного агрегата.

Известен способ упрочнения лемехов, изготовленных из среднеуглеродистых и легированных сталей точечным термическим армированием [86]. Повышение долговечности лемеха достигается тем, что при кратковременном высокотемпературном воздействии на материал лемеха тока большой силы, происходит образование закалочных структур, приводящее к увеличению твердости и, как следствие, износостойкости (рисунок 1.7).

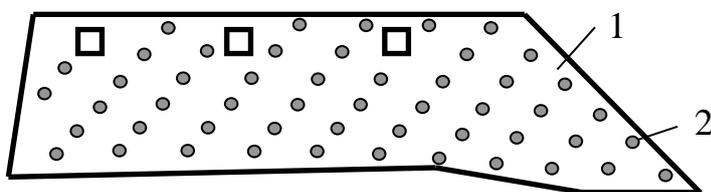


Рисунок 1.7 – Схема армирования лемеха точечным термическим армированием: 1 – лемех; 2 – пятна контакта по линиям армирования

Применение такого вида армирования позволили упростить технологию упрочнения и повысить износостойкость лемехов на глинистых и суглинистых почвах в 1,5...1,7 раза. Отличительным признаком представленного метода является более низкая степень термического воздействия, по сравнению с наплавочным армированием.

Точечное термическое армирование имеет общие недостатки с наплавленным армированием: термическое воздействие приводит к росту концентрации остаточных напряжений на достаточно большой глубине, что в определённой мере снижает конструкционную прочность детали; образование закалочных структур по всему объёму упрочняемой детали, которое приводит к снижению ударной вязкости; технология отличается достаточно высокой сложностью и требует применения сложного и дорогостоящего оборудования; повышение износостойкости поверхности производится за счёт увеличения твёрдости металла изделия без учёта формы естественного износа; способ малопроизводителен.

Во избежание отмеченных недостатков и учитывая геометрию износа, разработан способ упрочнения поверхности лемеха пластической деформацией (обкатыванием роликом), который предполагает образование на рабочей поверхности зон повышенной твердости [87]. В носовой части лемеха, зоне максимального износа, воздействием ролика создаётся поверхность, форма которой имитирует «лучевидный износ». На остальной поверхности лемеха формируются зоны в виде армированной сетки, параметры которой оптимизируются с учётом формы естественного износа рабочей поверхности. В результате этого сформированная рабочая поверхность будет обеспечивать за счёт создания устойчивой естественной формы износа снижение затрат энергии на преодоление сил трения и повышение износостойкости лемеха.

Армирование пластическим деформированием, в отличие от наплавленного армирования, практически невозможно реализовать в условиях мастерских сельских товаропроизводителей, так как изогнутая пространственная форма лемеха затрудняет точную установку детали при проведении упрочняющего воздействия, кроме того, следует более точно обосновать силу удельного давления на ролик, скорость перемещения деформирующего элемента и его материал.

ВЫВОДЫ

1 Применение материаловедческих методов, изменение конструкции на стадии изготовления детали не позволяют добиться существенного увеличения долговечности плужного лемеха. Технологические методы повышения износостойкости, основанные на нанесении покрытий, требуют применения либо дорогих наплавочных материалов, либо сложного оборудования.

2 Наиболее приемлемым способом повышения износостойкости лемеха следует считать наплавочное армирование.

3 Упрочнение локальных зон наиболее вероятного износа наплавочным армированием позволит увеличить долговечность детали, снизить расход электродных материалов, увеличить производительность технологического процесса упрочнения. Однако, применение данного метода требует детальной разработки с целью совершенствования технологии упрочнения, в частности, уточнения режимов армирования, геометрии нанесения наплавочных валиков, их формы и апробации в производственных условиях.

4 При использовании наплавочного армирования особое внимание следует уделить упрочнению локальных областей износа, месторасположение которых непосредственно зависит от гранулометрического состава почвы. При эксплуатации плужных лемехов на песчаных и супесчаных почвах следует обратить внимание на расположение зоны наибольшего износа в области носка (образование лучевидного износа) и повышать износостойкость именно этой области с целью его предупреждения.

2. УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ДЕФЕКТЫ ПЛУЖНЫХ ЛЕМЕХОВ

2.1 УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПЛУЖНЫХ ЛЕМЕХОВ И ОБРАЗОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ

Рабочие органы почвообрабатывающих машин эксплуатируются в достаточно тяжелых условиях, отличающихся наличием фактически всех внешних нагружающих факторов: статические [88], ударные [89] и знакопеременные нагружения [90], которые могут изменяться в зависимости от состава почв и условий эксплуатации. По некоторым сведениям, имеют место и коррозионные воздействия [91] (рисунок 1.8).

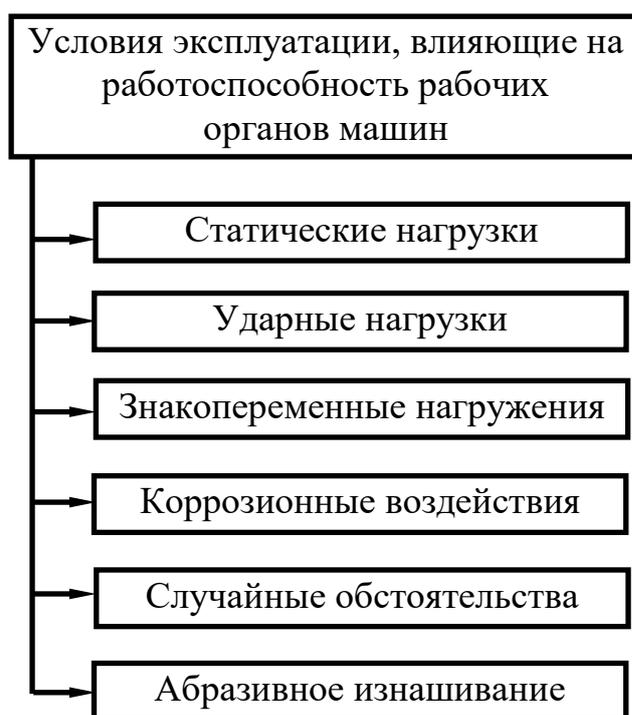


Рисунок 1.8 – Факторы, влияющие на работоспособность рабочих органов сельскохозяйственных машин

Из всех видов рабочих органов сельскохозяйственных машин лемех плуга относится к числу самых массовых, и ответственных рабочих органов, подверженных интенсивному абразивному изнашиванию [92]. Для комплектации плугов общего назначения в промышленностью России выпускается долотообразный лемех П-702, с выделяющейся носовой частью примерно на 22...25 мм, конструкция которого не меняется на протяжении 50 лет. Профиль лемеха

имеет небольшую эвольвентную кривизну [93]. Объем производства этих деталей в настоящее время составляет около 7 млн.штук в год [90]. Лемех используется для вспашки широкой гаммы почв, различающихся по гранулометрическому составу, структуре, изнашивающей способности [94].

Как показывают результаты многолетних испытаний серийных лемехов, в последнее время резко возросла доля их отказов. Причин несколько, в том числе, к примеру, предприятия-изготовители часто не соблюдают технологию производства, поэтому долговечность изделий не высокая. Кроме этого, повысилась нагруженность лемеха вследствие увеличения скорости пахотных агрегатов. Поэтому хотя цена нового лемеха не высокая (380-420 рублей), но с учетом необходимого их количества использования в течение периода полевых работ дает существенные затраты.

Лемех является наиболее нагруженной деталью, среди деталей корпуса плуга и подвергается воздействию всех вышеуказанных факторов (рисунок 1.8).

Статические нагрузки возникают от относительно равномерного воздействия почвы. Причем в разных точках рабочих органов их значение отличается. Носовая часть лемеха испытывает большие нагружения, которые достигают величин в 5...6 раз больше, чем средние удельные нагрузки. Это обстоятельство и обуславливает в определенной мере некоторые расхождения по оценке величины износа в различных областях рабочей поверхности. Иногда авторы термин «статические нагрузки» заменяют понятием давление [88]. Величина статических нагрузок зависит от гранулометрии почвы, ее влажности, скорости движения агрегата и оказывает определяющее влияние на образование износов. Из-за разности распределения таких нагрузок в отдельных областях лемеха имеет место неравномерность износов, а так же его различная геометрия [95].

Действие ударных нагрузок связано с наличием в почве различных препятствий. При внезапном образовании такой нагрузки происходит удар, поэтому чаще всего рабочий орган теряет работоспособность из-за нарушении целостности детали или изменения ее геометрии [96].

Усталостное нагружение в рабочих органах сельскохозяйственных машин может происходить в результате действия знакопеременных нагрузок [97]. Судя по действию нагрузок на лемех, их знакопеременный характер отсутствует. Поэтому вызывает сомнение заключение автора [90] об усталостном разрушении лемеха. Рассмотрение изломов лемехов так же не подтверждает усталостный характер их разрушения (отсутствует полированный участок). Между тем, существует мнение, что на поверхности лемеха имеют место усталостные явления, сопровождающие абразивное изнашивание [98]. Такие явления, как правило, прослеживаются при трении качения, трения с проскальзыванием, когда контакт деталей сосредоточенный [99].

Коррозионные воздействия возникают в результате протекания окислительных реакций – взаимодействие кислорода с металлом детали, разрушая его поверхность [100, 101]. Окислительные процессы, оказывающие значительное влияние на работоспособность деталей или машин в целом характерны для техники, работающей в условиях воздействия химически активных веществ [102]. Нужно полагать, что коррозия не окажет существенного влияния на величину износа лемеха вследствие специфики его работы. Тем не менее, при консервации или постановке на хранение плуга необходимо рабочую поверхность лемеха изолировать от воздействия окружающей среды.

Возникновение случайных нагрузок возможно при нарушении технологических процессов эксплуатации. Некоторые виды этих нагрузок могут привести к образованию различных дефектов.

Абразивное изнашивание определяется непосредственно взаимодействием почвообрабатывающих машин с мелкими твердыми абразивными частицами [100, 103, 104]. Интенсивность и характер износа металла зависят от природы и свойств почвы, а также условий взаимодействия с почвой рабочих органов. Основными факторами определяющими износ являются: гранулометрический состав, плотность, скорость движения, форма деталей, контактирующих с почвой, свойства материалов, из которых эти детали изготовлены.

Работа в условиях жесткого абразивного изнашивания – важнейшая особенность эксплуатации рабочих органов почвообрабатывающих машин, в особенности плужных лемехов, зависящая от действия почвенной среды [104, 105, 106]. Этот процесс в основном и ограничивает ресурс почвообрабатывающих машин, определяющими факторами которого являются: конструкционный, технологический, экономический и эксплуатационный признаки [107].

Поэтому данный вопрос требует дополнительного рассмотрения для разработки нормативов рационального использования плужных лемехов.

2.2 ВЛИЯНИЕ ПОЧВЕННЫХ УСЛОВИЙ НА ХАРАКТЕР ИЗНОСА

Многочисленные исследования и практический опыт показывают, что характер изнашивания деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин, зависит, прежде всего, от почвенных условий.

Процесс изнашивания протекает при непрерывном взаимодействии материала с почвой. Причем, отдельные части лемеха, как уже отмечалось, изнашиваются неравномерно. Известно, что сила, действующая на носовую часть лемеха в 2,5...5 раз превышает нагрузку на лезвие [88], и, даже в этом случае, давление в разных местах отмеченных частей лемеха, будет неодинаковым. Поэтому интенсивность и характер износа зависят от свойств почвы и условий взаимодействия с нею рабочей поверхности лемеха. Под характером износа следует понимать его геометрические особенности.

Наиболее интенсивный износ лемехов наблюдается в период осенней вспашки после уборки зерновых культур, так как возрастает плотность почвы из-за переуплотнения почвенного слоя при частом движении агрегатов (уборка урожая, транспортировка). Недостаточный ресурс лемехов приводит к необходимости их многократной замены в течение весенних и осенних работ, что приводит к частому простаиванию почвообрабатывающей техники.

При этом нарушаются агротехнические сроки вспашки, а следовательно, сева, снижается производительность и возрастают затраты труда. Особенно это

сказывается на песчаных и супесчаных почвах, где наработка составляет на один лемех не более 10 га. Таким образом, низкий ресурс лемеха приносит весьма значительный ущерб сельскохозяйственным товаропроизводителям.

В Нечерноземной зоне РФ наиболее распространены дерново-подзолистые почвы. Так в Брянской области они занимают 1509,1 тысяч га, что составляет 61,6 % пашни (Приложение А) [108]. По степени подзолистости этот тип представлен различными видами, в каждом из которых встречаются разновидности почв по гранулометрическому и физическому составам: песчаные – 5,3 %, супесчаные – 22,3 % и легкосуглинистые – 36,3 %.

В преобладающем большинстве случаев, изнашивающая способность почвы зависит от ее состава, материала рабочих органов, способа воздействия на почву. Основными агентами износа являются твердые минеральные частицы кварца (HV 7...11 ГПа), которые составляют до 80% почвы, далее полевой шпат, гранит и другие минералы (HV 6...7,2 ГПа) [109].

Большая часть этих частиц имеет округлую форму, но так же присутствуют включения, имеющие острые грани и выступы [104], способные деформировать контактные поверхности рабочих органов плуга. Кварц является основной составной частью большинства песчаных почв, чем и объясняется их высокая изнашивающая способность. Частицы пород, образующих глинистые почвы обладают меньшей твердостью, чем и объясняется пониженная интенсивность изнашивания рабочих органов при работе на суглинистых почвах [110].

По своей изнашивающей способности почвы классифицируются по трем группам с учетом удельного износа по весу стандартных лемехов и содержанию «физического песка» (%) [111, 112]. В первую группу входят глинистые и суглинистые почвы, которые обладают малой изнашивающей способностью. Во вторую группу входят супесчаные и песчаные почвы с небольшим количеством каменистых включений. Они обладают средней изнашивающей способностью. В третью группу входят песчаные почвы с большим количеством каменистых включений, которые обладают большой изнашивающей способно-

стью (таблица 1.2). Границы перехода одной группы почв в другую, безусловно, имеют некоторые колебания по удельному износу.

Почвы первой группы изнашивают лемех в основном по лезвию с образованием затылочной фаски. Лезвие лемеха затупляется и может принимать овальную форму. Поверхность лемеха изнашивается в них незначительно.

Таблица 1.2 – Классификацию почв по изнашивающей способности (по профессору С.П. Васильеву)

Группа	Подтип почвы	Содержание физического песка	Удельный износ лемеха, г/га
I	Глинистые, тяжелые суглинистые без наличия каменистых включений	до 80 %	2...30
II	Средне-, легкосуглинистые, супесчаные, песчаные с небольшим количеством каменистых включений	80...95 %	30...100
III	Песчаные, тяжелая и легкая супесь с большим наличием каменистых включений	95...100 %	260...450

Наибольший удельный износ лемеха по весу в почвах второй группы 100 г/га. Эти почвы в основном способны самозатачивать лемех и изнашивают его поверхность по толщине. Лезвие при этом сохраняет свою остроту, но на лицевой стороне образуется лучевидная канавка. Почвы третьей группы имеют максимальный удельный износ до 450 г/га и, следовательно, наиболее интенсивно изнашивают лемех по толщине и ширине. Большое колебание в значении удельного износа этих групп почв можно объяснить колебанием таких значений как влажность и плотность почв.

Очевидно, что на изнашивающую способность почвы не могут влиять твердость изнашиваемой детали, химический состав и другие свойства [88]. Действительно, при незначительной влажности твердость глинистых почв резко увеличивается, а износ лемеха в этих условиях в 4...5 раз больше, чем на почвах влажностью 12...14 %. Поэтому долговечность лемеха может быть почти одинакова на различных почвах, но изнашивающая способность – различная.

Изнашивающая способность почвы проявляется при взаимодействии с ней движущего твердого тела. При неизменных механическом составе и влажности абразивной среды, а так же при постоянных свойствах изнашиваемой детали интенсивность зависит главным образом от давления абразива [113]. При повышении давления на поверхности трения интенсивность изнашивания возрастает прямо пропорционально, при увеличении влажности – уменьшается [88] для почв первой группы (таблица 1.2) и увеличивается для песчаных почв. Влажность влияет не только на интенсивность, но на вид износа [114]. При пахоте супесчаных почв влажностью 2,8...4,0 % лемеха наблюдается износ по ширине, а влажностью 9,4...12,0 % – по толщине в области носка.

Может показаться, что местам наибольшего износа должно соответствовать и наибольшее давление, однако необходимо учитывать все изменения тягового сопротивления плуга в зависимости от скорости движения агрегата [115]: «максимальное давление концентрируется выше лезвия лемеха», чем и создает места наибольшего износа. Это предположение согласуется с закономерностями упругопластических деформаций твердых тел и общей теорией клина. Таким образом, максимальное давление будет в точках удаленных от режущей кромки клина. Для твердых почв это удаление будет меньшим, для пластичных – большим [116, 117].

На вспашке большинства почв износ лицевой стороны лемеха относительно невелик и не сказывается на его сроке службы, так как толщина верхней части лемеха – достаточная [118]. Но как показывают результаты многолетних наблюдений [119], исключения составляют влажные песчаные и супесчаные почвы, при вспашке которых, на носовом участке лемеха образуется канавка, почти параллельная полевому обрезу и имеющая максимальную глубину вблизи спинки лемеха. Этот порок связан с повышенным давлением почвы в этой области [88], и, кроме того, с видом деформации почвы в зависимости от ее гранулометрического состава при обработке клиновыми рабочими органами [115].

Движение клина сопровождается перемещением твердых почвенных ча-

стиц в фазе деформации перпендикулярно к рабочей поверхности лемеха, а потом и отвала [120] с определенной скоростью. В связи с этим, в фазе деформации на клине образуется уплотненная зона, проходящая почти параллельно области полевого обреза и, перемещающаяся по носовой части лемеха. Поэтому протирание лемеха происходит вследствие возникновения более высокого коэффициента трения [88, 115].

В этих условиях лемеха часто изнашиваются до сквозного отверстия при сохранении геометрических параметров.

2.3 КРИТЕРИИ ПРЕДЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЛЕМЕХА

Лемех предназначен для подрезания почвенного пласта толщиной 20...35 см, его частичного крошения и подачи почвенной массы на корпус плуга. Он должен сохранять в течение всего срока эксплуатации основные функциональные качества: способность к заглублению в почву, подрезание и сохранение толщины пласта, ход плуга по толщине, крошение почвы, минимальные энергозатраты и безопасность труда [121].

Признаками предельного состояния лемеха являются: прекращение (полное или частичное) выполнение заданной функции; отклонение технологических и экономических показателей качества за пределы установленных норм (выглубление или уменьшение толщины подрезаемого пласта). Все указанные факторы снижают качество вспашки. Лемех в процессе эксплуатации может приобретать устраняемый дефект, который определяет его предельное состояние, или отказ, приводящий к выбраковке. Критерии предельного состояния для лемеха необходимо анализировать с учетом различных типов почв [90, 122] (таблица 1.3).

Наработка до первого отказа у плужных лемехов составляет от 5...10 га на песчаных почвах и до 40...60 га на черноземах, при этом основными причинами отказов служат: износ носка лемеха; области полевого обреза; лезвия. Действительно, в условиях интенсивного абразивного изнашивания, которому подвергается лемех в процессе работы, лезвие изменяет свою геометрическую

форму – образуется затылочная фаска, закругляется и изнашивается носок; происходит изнашивание пятки рабочей поверхности; формируется лучевидный износ и уменьшается ширина лемеха. Помимо этого, при столкновении лемеха с каменистыми включениями могут возникнуть изгибы, скручивание и разрушение (поломка) [90, 93, 95, 119, 130, 153].

Таблица 1.3 – Критерии предельного состояния лемехов

Категория и тип почвы	Твердость почвы, МПа	Коэффициент изнашивающей способности	Влажность W, %	Возникающие дефекты	Наработка, га
I Песчаная и супесчаная	1,5...2,0	2,05...2,75	10...11	Износ лемеха по толщине, износ области, примыкающей к полевому обрезу, сквозное протирание, износ носка на величину более 45 мм, обломы, изгибы	3...10
II Суглинки	1,5...3,0	1,10...2,21	14...18	Износ по ширине и толщине, лучевидный износ, появление затылочной фаски, обломы, изгибы, трещины	12...20
III Глинистая	3,0...4,0	0,41...1,25	12...16	Затупление, износ лезвия по ширине лемеха на величину наплавленного слоя – 7...8 мм, при пониженной влажности изломы носка, обломы, изгибы, трещины	15...25

Анализ износа рабочих органов плугов на подзолистой почве показал [123], что лемеха выбраковываются задолго до достижения ими такой ширины, когда начинает изнашиваться стойка корпуса плуга. Это обстоятельство приводит к необходимости введения соответствующего различным почвенным условиям признаков предельного состояния.

При обработке почвы долотообразным лемехом интенсивное абразивное изнашивание лезвия приводит к формированию затылочной фаски [124]. Угол наклона и затылочная фаска, в некоторой степени, зависят от типа почв и приводят к образованию различных дефектов. С учетом изменения механического

состава, влажности и твердости почв ширину затылочной фаски в пределах 4 – 5 мм можно считать предельным состоянием, если угол ее наклона к дну борозды равен в среднем 20°.

Отказы по предельному состоянию, прежде всего, связаны с ускоренным износом носовой части лемеха. При вспашке глинистых, песчаных почв выступающий перед лезвием носок долотообразного лемеха первым внедряется в почву, обеспечивая заглубление лемеха и устойчивость лемеха при пахоте. Высокое давление, реализуемое в зоне повышенного силового контакта режущей кромки носка с почвой, вызывает его опережающее изнашивание по отношению к лезвию [125]. Опережающее изнашивание носка отрицательно сказывается на качестве вспашки задолго до потери ресурса лемеха, при этом основной критерий – предельный износ носка [126]. При этом износ лемеха по ширине может быть минимальным или отсутствовать вообще. Повышенная заостряемость носка обеспечивает заглубление лемеха даже при затупленном лезвии, что увеличивает ресурс. Однако при вспашке высокоабразивных песчаных почв заострение и сопутствующее ему снижение толщины носка столь велики, что носок теряет прочность и под действием заглубляющей силы изгибается вниз, в сторону дна борозды или под действием давления почвы протирается. Это является одной из характерных причин предельного состояния лемеха на этих почвах.

По результатам многолетних исследований, в зависимости от гранулометрического состава почв Нечерноземной зоны РФ и с учетом ее изнашивающей способности (таблица 1.2), возможно выделить критерии предельного состояния лемехов, эксплуатируемых на почвах области [127, 128]:

- ширина лемеха не лимитирует его работоспособность;
- лемеха с износами носка до 45 мм в объеме вероятности 60% пригодны к дальнейшей эксплуатации, остальные могут быть восстановлены;
- ширина лучевидного износа не лимитирует работоспособность лемеха, однако имеют место случаи выхода лучевидного износа к переднему обрезу носка, что влечет за собой отказ лемеха;

– наиболее значимой геометрической характеристикой износа, ограничивающей наработку на отказ лемеха является глубина лучевидного износа, а также остаточная толщина стенки лемеха. Величину лучевидного износа можно считать критерием «отказности»;

– прогиб лемеха не будет определять предельное состояние, так как устраняется крепежными болтами при установке лемеха.

Проведенный анализ и опыт многолетней эксплуатации [129, 130] позволяет классифицировать дефекты, встречающиеся при работе плужных лемехов на песчаных, супесчаных, суглинистых, глинистых почвах (таблица 1.4).

В настоящее время лемеха, утратившие по тем или иным причинам работоспособное состояние, фактически не восстанавливаются. Лишь в некоторых ремонтных мастерских производят оттяжку и правку. Однако нарушение технологических норм (проведение термической обработки) сводит ресурс этих деталей к минимуму.

Таблица 1.4 – Дефекты плужного лемеха

Наименование дефекта	Коэффициент повторяемости	Состояние (предельное /критическое)
Трещины	0,02	Предельное, возможно восстановление
Затупление лезвия	0,03	Предельное, возможно восстановление
Обломы, изгибы, скручивание	0,05	Критическое
Износ по ширине	0,06	Предельное, возможно восстановление
Сквозное протирание в области, примыкающей к полевому обрезу	0,12	Предельное, возможно восстановление
Износ по толщине не более 6 мм	0,15	Предельное, возможно восстановление
Износ носка	0,30	Предельное, возможно восстановление
Образование затылочной фаски	0,50	Предельное, возможно восстановление
Образование лучевидного износа	0,84	Предельное, возможно восстановление

Но основной причиной, затрудняющей организацию производства по восстановлению лемехов, следует считать отсутствие несложных технологических процессов, материально-технической базы [131].

2.4 АНАЛИЗ ДЕФЕКТОВ ПЛУЖНЫХ ЛЕМЕХОВ

При анализе дефектов, возникающих во время пахоты на почвах Юго-западного района Нечерноземной зоны Российской Федерации, были использованы 250 единиц лемехов, утративших работоспособное состояние и эксплуатировавшихся в разных районах Брянской области, что обеспечило достаточно широкий охват различных типов почв, присущих этому региону [9].

В качестве дефектов рассматривались: износ носка и по ширине лемеха; лучевидный износ; сквозное истирание в области, примыкающей к полевому обрезу; образование затылочной фаски; нарушение целостности: трещины; изгибы, скручивание, прогибы; разрушение [1, 2]. Коэффициент повторяемости того или иного дефекта ($K_{п.д.}$), выражаемый в процентном отношении, определялся из выражения

$$K_{п.д.} = \frac{N_{дi}}{N}, \quad (1)$$

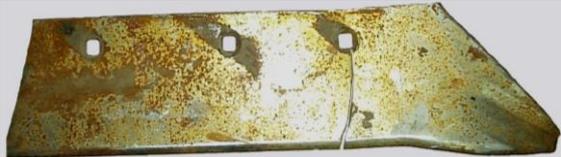
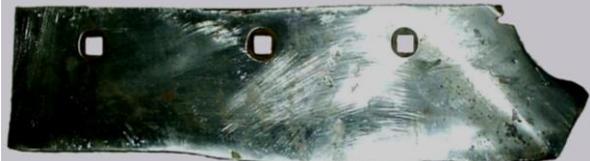
где $N_{дi}$ – количество деталей, имеющих i -й дефект;
 N – общий объем выборки.

2.4.1 ДЕФЕКТЫ ПЛУЖНЫХ ЛЕМЕХОВ

Наработка до первого отказа у плужных лемехов составляет от 5...10 га на песчаных почвах и до 40...60 га на черноземах, при этом основными причинами отказа служат износ лемеха в области носка, полевого обреза и лезвия. Действительно, в условиях интенсивного абразивного изнашивания, которому подвергается лемех в процессе работы, лезвие изменяет свою геометрическую форму, образуется затылочная фаска, закругляется и изнашивается носок; происходит изнашивание пятки рабочей поверхности; формируется лучевидный

износ и уменьшается ширина лемеха. Помимо этого, при столкновении лемеха с каменистыми включениями могут возникнуть изгибы, скручивание и разрушение (поломка) (таблица 1.5).

Таблица 1.5 – Дефекты плужного лемеха

Наименование дефекта	Коэффициент повторяемости	Вид
Износ по ширине	5 %	
Износ носка	30 %	
Образование лучевидного износа в области, примыкающей к полевому обрезу лемеха (эллипсоид износа)	84 %	
Сквозное протирание в области, примыкающей к полевому обрезу лемеха	12 %	
Образование затылочной фаски	50 %	
Образование трещин	3 %	
Изгибы, скручивание, прогибы	81 %	
Разрушение	3 %	

Как правило, первый отказ регламентируется закруглением и износом носка на величину более 45 мм и лучевидным износом. Одним из главных факторов, ограничивающих ресурс плужного лемеха, следует считать появление лучевидного износа в области, примыкающей к полевому обрезу (рисунок 1.9).



Рисунок 1.9 – Лучевидный износ, осложненный сквозным протиранием лемеха

Количество отказов лемехов по этой причине согласно собственным исследованиям, составляет около 84 % от поступивших на реставрацию (таблица 4.1). Значительные потери металла в отмеченной части лемеха, вплоть до сквозного протирания, приводят к изгибам носка и его изломам. Нужно отметить, что остальные геометрические параметры часто соответствуют допустимым нормам.

Другим дефектом, сравнимым с вышеописанным, считается износ носка лемеха. Коэффициент его повторяемости составляет примерно 30 % при наличии износа более 45 мм. Такая величина, как считают исследователи, является допустимой. В противном случае, нарушается устойчивость плуга, и возникает эффект выталкивания агрегата из земли. Кроме того, создаются значительные трудности с заглублением.

Высокий процент механических повреждений, как-то: изгибы, скручивание, прогибы достаточно легко устранимы и, как правило, не лимитируют отказность.

Анализ таблицы позволяет сделать вывод о необходимости проведения поисковых работ по повышению долговечности лемехов путем упрочнения области наиболее вероятного износа.

2.5 ОЦЕНКА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛЕМЕХОВ ПОСЛЕ ПОТЕРИ РАБОТОСПОСОБНОГО СОСТОЯНИЯ

Изучалось изменение геометрии 25 лемехов, которые использовались при пахоте на дерново-подзолистой песчаной и супесчаной почвах влажностью 8...14 %; содержание: абразивных частиц размером 1,00...0,25 мм – 26,4 %; 0,25...0,05 – 35,2 %; 0,05...0,01 – 25,8 %; физической глины – 12,3 %; рН (KCl) – 4,8 (анализ почвы проводился в лаборатории кафедры агрохимии и почвоведения Брянской ГСХА). В почве присутствовали гравиевидные включения. Пахота осуществлялась плугами ПЛН-3-35 и ПЛН-5-35, агрегируемых на тракторах МТЗ-82 и Т-150К при скорости движения – 4...7 км/ч. За критерий отказа принималось сквозное протирание в области лучевидного износа носка лемеха.

Замеры величин отклонения линейных размеров от размеров нового лемеха осуществлялись по 22 сечениям (вертикальные штриховые линии, рисунок 3.1), начиная от пятки, путём наложения изношенной детали (линия I) на шаблон нового лемеха (линия II, рисунок 1.10).

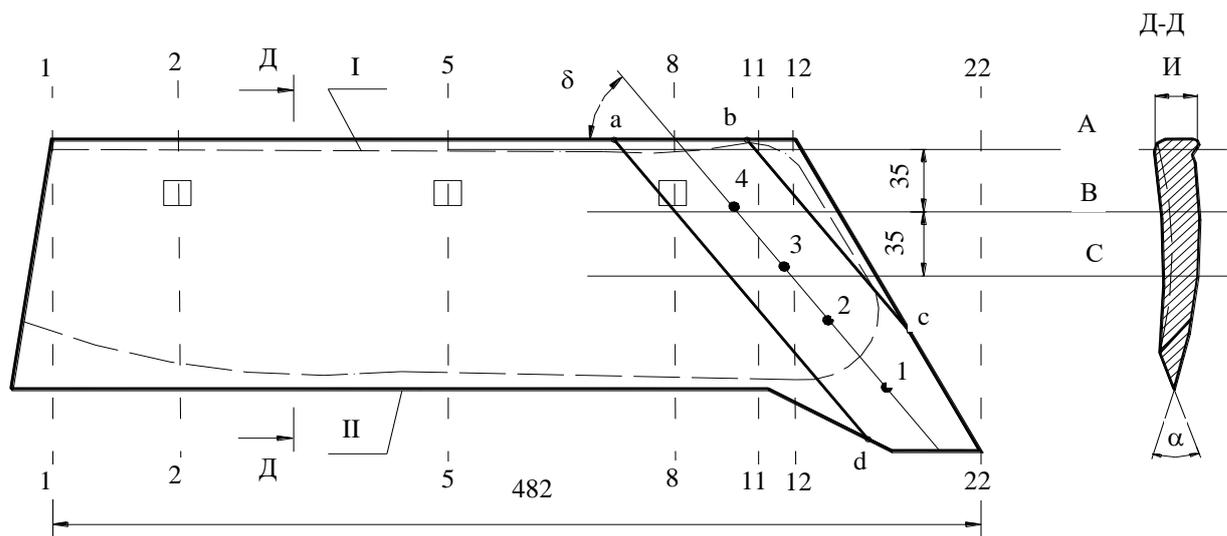


Рисунок 1.10 – Измерение параметров лемеха: А, В, С – плоскости замера толщины лемеха; 1-1, 2-2, ... 22-22 – линии замеров отклонения линейных размеров; abcd – площадь лучевидного износа; δ – примерный угол расположения области изнашивания; 1, 2, 3, 4 – точки в области максимального давления почвы на лемех в носке; α – угол заточки

Измерение изменения толщины (И) в зоне образования лучевидного износа производилось посредством замеров на расстояниях 0, 35 и 70 мм от верхней кромки в трёх плоскостях (А, В, С, рисунок 1.10).

Измерение линейных отклонений проводились штангенциркулем ШЦ-П-0,05 ГОСТ 166-80. Замеры угла заточки лемеха (α) производились универсальным угломером УН-127 ГОСТ 5378-66.

2.5.1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛУЧЕВИДНОГО ИЗНОСА

Подробное изучение геометрии лучевидного износа проводилось на выборке объемом 58 шт. из партии лемехов в состоянии поставки, отказавших после пахоты 8-10 га на песчаных и супесчаных почвах и имевших лучевидный износ. В качестве основных критериев были приняты: ширина лучевидного износа (l_i), расстояние от полевого обреза до линии верхней границы дефекта – линии $a'-a$ (k_i) и расстояние от полевого обреза до нижней границы дефекта – линии $b'-b$ (c_i). Измерения линейных размеров проводились по сечениям I, II, III, расположенных на расстоянии 35, 60 и 80 мм от верхней стыковочной плоскости соответственно (рисунок 1.11) штангенциркулем ШЦ-П-0,05 ГОСТ 166-80.

$$l_i = c_i - k_i, \quad (2)$$

где i – номер соответствующей плоскости измерения.

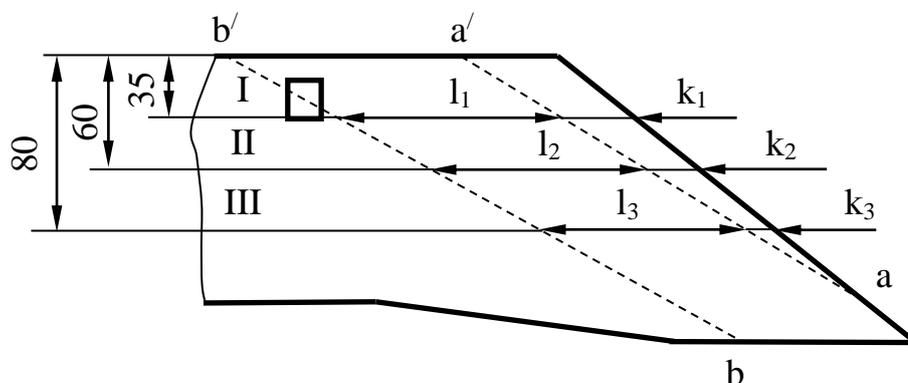


Рисунок 1.11 – Схема измерения лучевидного износа: I, II, III – плоскости замеров; $a'-a$, $b'-b$ – границы дефекта; k_1 , k_2 , k_3 – расстояние от полевого обреза границы дефекта $a-a$; l_1 , l_2 , l_3 – ширина лучевидного износа в соответствующих сечениях

В плоскостях I, II, III измерялись два параметра: k_1, k_2, k_3 и c_1, c_2, c_3 (на рисунке не показано). Ширина лучевидного износа определялась как разница между этими двумя измерениями

Обработка и анализ полученных по сечениям I, II и III данных проводился с помощью программы Microsoft Excel.

2.6 ИЗМЕНЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛЕМЕХОВ ПОСЛЕ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА СУПЕСЧАНЫХ ПОЧВАХ

Нужно отметить, что при разработке технологий мало изучалась и фактически не учитывалась специфика геометрии лемехов после утраты работоспособности. Хотя учёт геометрии естественного износа, несомненно, позволит более обосновано и рационально подойти к разработке процессов упрочнения, так как износ по рабочей поверхности изучаемой детали неодинаков и неравномерен.

Износ рабочей плоскости лемеха неодинаково выражен по различным участкам поверхности. В носовой части и области, примыкающей к полевому обреза, характерное истирание плоскости выражено в виде полосы (лучевидного износа) шириной 30...40 мм, примерно под углом 50...55° от носка к верхней стыковочной плоскости. Образование лучевидного износа и наличие значительных износов связано с повышенными давлениями почвы в области точек 1; 2; 3; 4 (рисунок 1.12). Исследованиями ряда авторов установлено, что максимальные давления в отдельных точках лемеха достигают величин, превышающих средние удельные давления в 5...6 раз, а в точке 2 (рисунок 1.12) на песчаной почве при глубине пахоты 0,18...0,20 м и скорости движения 1,58 м/с составляет от 0,151 до 0,184 МПа.

Уменьшение толщины в зоне образования лучевидного износа приводит к снижению прочности и, как следствие, изгибу носка до первого крепёжного болта у 48 % исследованных лемехов. Аналогичный характер износа в виде полос прослеживается по всей рабочей плоскости лемеха только с меньшей выраженностью как по ширине, так и по глубине, но с увеличенным углом δ на 2...5°. Образование полос с неравномерным износом по рабочей плоскости лемеха непосредственно связано с разностью удельных давлений.

Возникновение данной зоны привело к изменению толщины (И). Характерное уменьшение толщины наблюдалось по всем трём плоскостям (А, В, С, рисунок 1.12) на участке 300...400 мм от пятки лемеха.

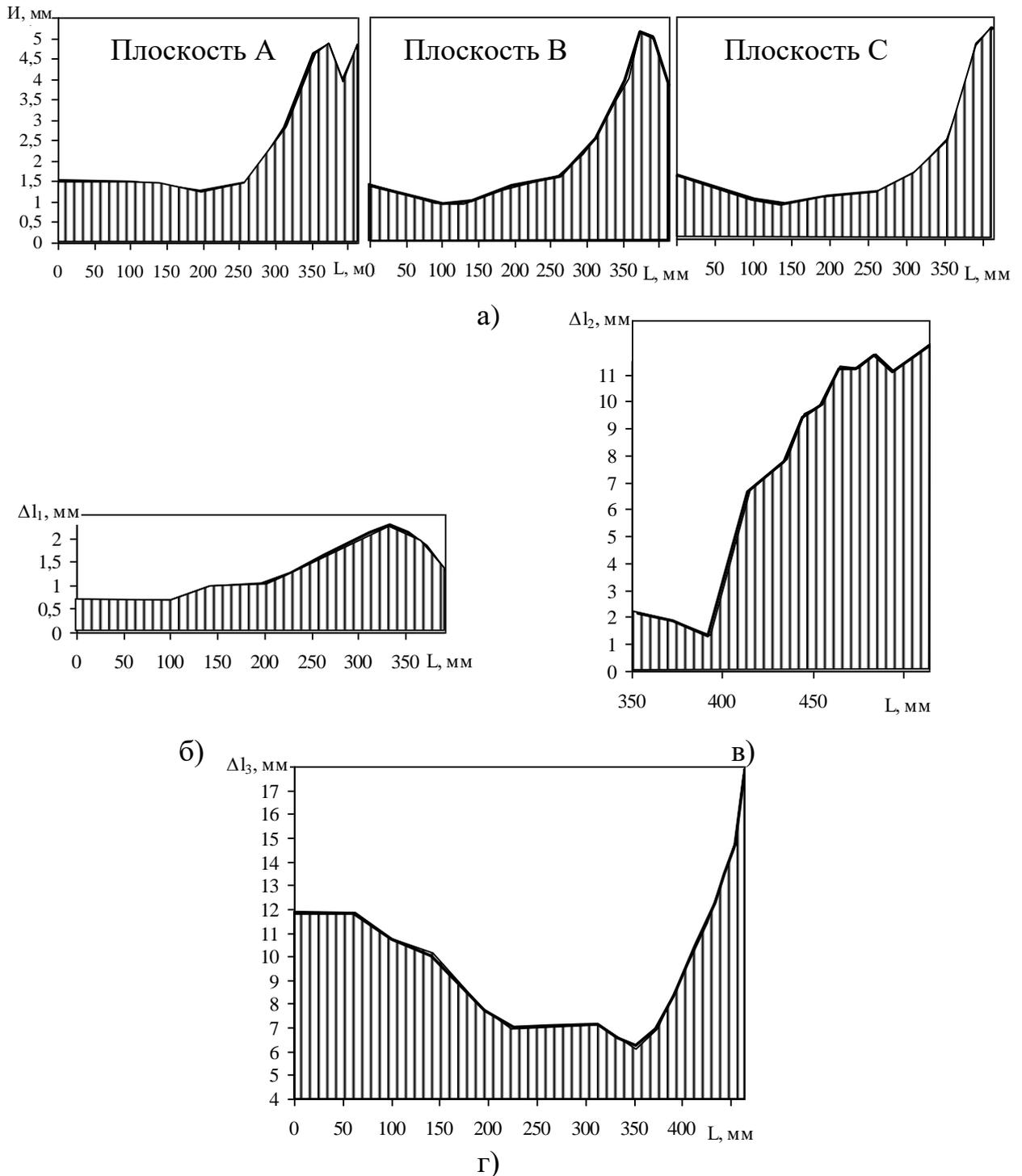


Рисунок 1.12 – Эпюры износа в различных сечениях по длине лемеха L: а) по толщине; б) по верхней стыковочной плоскости; в) по скосу носка; г) лезвия

По верхней стыковочной кромке лемеха до скоса носка наблюдался достаточно небольшой износ $\Delta l_1 = 0,5 \dots 2,5$ мм. Характерное повышение величины износа, до 2,5 мм, происходит на расстоянии 250...370 мм от пятки, что отмечается образованием углубления (лучевидного износа) на рабочей поверхности расположенного примерно вдоль скоса носка лемеха.

Износ носка характеризуется относительно большими величинами $\Delta l_2 = 2 \dots 12,5$ мм, что объясняется также повышенным давлением почвы в данной зоне, на 40...50 % большим, чем испытывает пятка. Характер износа представлен на рисунке 4.2, в.

Лезвие лемеха, термически обработанное до 50 HRC, на ширину 20...35 мм, имеет также неравномерный износ Δl_3 , как и в случае верхней стыковочной плоскости. Однако, характер протекания изнашивания различен. Кроме этого, численные величины износов стыковочной плоскости и лезвия лемеха отличаются в 4-6 раз, а в области носка лезвия до 9 раз; на расстоянии 200 мм от пятки износ составил от 8 до 12 мм. Далее на расстоянии от 200 до 370 мм наблюдается уменьшение до 6 мм и в зоне носка лемеха резкое увеличение износа, приведшее к полному истиранию участков носка.

Неравномерный износ лезвия лемеха объясняется различным характером воздействия почвы на разные зоны. Пятка лемеха находится у открытой стенки борозды, где усилие деформации почвы значительно меньше. На носке лемеха, кроме усилия деформации, возникают нагрузки, связанные с отрывом пласта, как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости. Основная роль лезвия не резание, а образование зон деформации почвы, приводящих к скалыванию пласта. Образование данных зон сопровождается возникновением пиковых нагрузок, цикличность которых на песчаных почвах достигает 30...40 колебаний в секунду. Колебания давления частиц почвы при взаимодействии с рабочей поверхностью лемеха может служить дополнительным фактором повышения износа.

Значительное влияние на качество вспашки, как известно, оказывает угол

заточки лемеха α . Поэтому, определённый интерес представляет изучение изнашивания этого параметра (рисунок 1.13).

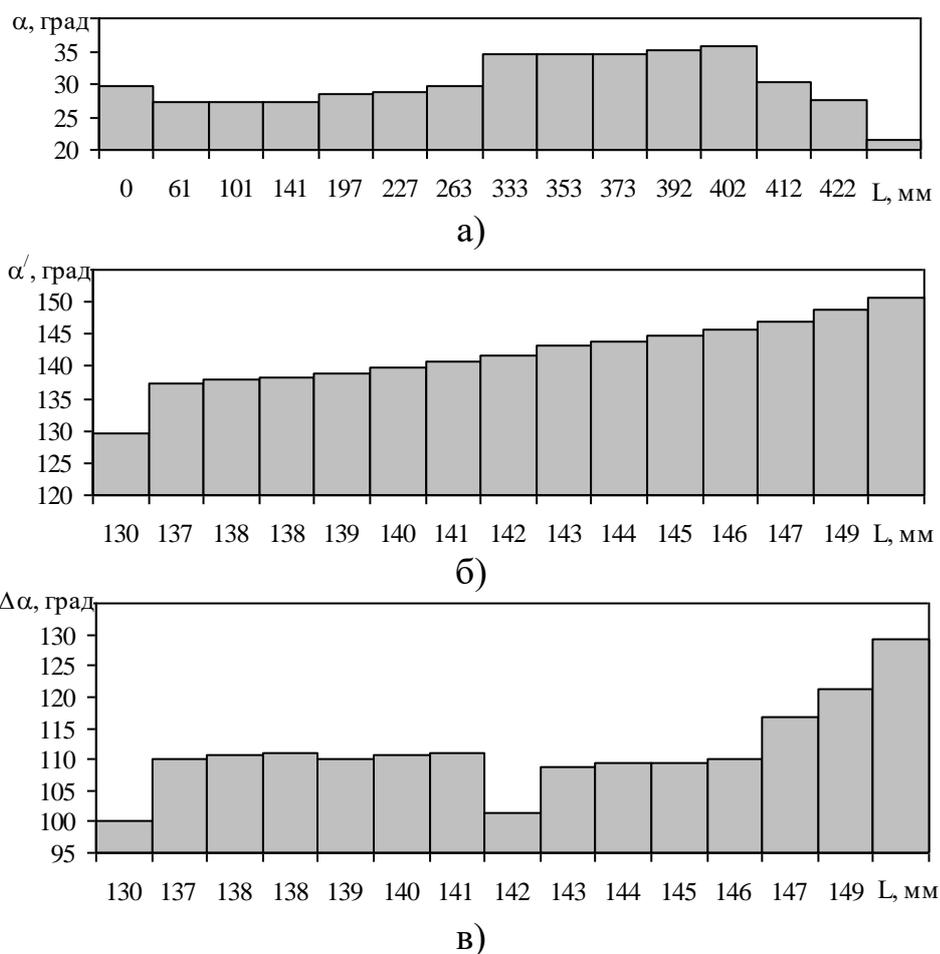


Рисунок 1.13 – Изменение угла заточки лезвия (α) по длине лемеха (L): а) – до эксплуатации; б) – после эксплуатации α' ; в) – изменение угла заточки

Как показали измерения лемехов, после их эксплуатации наблюдается характерное резкое увеличение угла заточки на $100...120^\circ$. По длине лезвия лемеха минимальный угол заточки характерен для пятки и составляет около 130° , с удалением к носку угол заточки лезвия возрастает практически прямолинейно и достигает максимального значения на носке около 150° .

Таким образом, износ плужного лемеха после его эксплуатации на дерново-подзолистых песчаных и супесчаных почвах носит весьма сложный характер. Поэтому, при разработке технологий упрочнения следует обращать внимание на

указанный фактор, так как величины упрочнения должны, по нашему мнению, быть сориентированы с величинами износов в различных областях детали.

2.7 АНАЛИЗ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЛУЧЕВИДНОГО ИЗНОСА ПЛУЖНЫХ ЛЕМЕХОВ В ОБЛАСТИ, ПРИМЫКАЮЩЕЙ К ПОЛЕВОМУ ОБРЕЗУ

Анализ технического состояния лемехов, имеющих лучевидный износ, возникающий во время обработки легкосуглинистых и супесчаных почв Юго-Западного региона Нечерноземной зоны Российской Федерации, установлено, что данный вид износа в области полевого обреза из общей совокупности дефектов проявляются весьма часто [132, 133]. Для изучения геометрических параметров и качественных показателей лучевидного износа, было отобрано 220 лемехов, утративших работоспособное состояние и эксплуатировавшихся во время пахоты на почвах Брянской области.

К качественным показателям следует отнести: износ по ширине и толщине; износ, обломы, изгибы носка; наличие лучевидного износа, сквозное протирание, трещины, обломы тела лемеха, наличие затылочной фаски.

Критериями «отказности» считали остаточную величину толщины лучевидного износа до 2 мм, утрату размеров носка до 45 мм, сквозное протирание в области, примыкающей к полевому обреза; образование затылочной фаски; образование трещин, износ по ширине более 30 мм. Выбраковка проводилась при толщине лемеха – менее 5 мм, так как при этом резко возрастает вероятность пластического изгиба; при утрате целостности.

Коэффициент повторяемости того или иного дефекта – $K_{п.д}$, определялся из выражения [134]:

$$K_{п.д} = \frac{N_{д_i}}{N} \quad (3)$$

где $N_{д_i}$ – количество деталей, имеющих i -й дефект; N – общий объем выборки.

Оценка качественных показателей проводилась визуально.

2.7.1 ОЦЕНКА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛЕМЕХА И ЕГО ЛУЧЕВИДНОГО ИЗНОСА ПОСЛЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Износ рабочих органов почвообрабатывающих машин оценивался следующими методами:

1) весовой; 2) микрометража; 3) совмещения контура поперечных сечений.

Весовой способ не раскрывает характера износа профиля рабочего органа, однако служит критерием для оценки относительной стойкости восстановленной детали к абразивному изнашиванию. Он заключается в следующем: после вспашки 2 га лемех демонтируется с плуга и взвешивается. Такие измерения проводятся до достижения им предельного состояния. Для сравнения взвешивание проводилось как на лемехах в состоянии поставки, так и восстановленных двухслойной наплавкой. Использовались весы марки ВНЦ с погрешностью ± 1 г.

Метод микрометража заключается в измерении одних и тех же линейных размеров в процессе изнашивания. Этот метод дает представление о линейных износах. Для исследования износа носка лемеха наиболее объективным является метод совмещения контуров поперечных сечений в сочетании с микрометражом [135], сущность которого состоит в наложении шаблона (имитатор неизношенного лемеха) на эксплуатирующийся лемех и измерения изменений геометрических размеров.

Определялись геометрические параметры партии изношенных лемехов в количестве 36 штук. Выборка носила случайный характер. В качестве основных оценочных параметров были приняты [136] (рисунок 1.14):

- ширина лучевидного износа (l_i) по сечениям I, II, III, расположенных на расстоянии 30, 60 и 95 мм от верхней стыковочной плоскости соответственно;
- глубина лучевидного износа d_i по сечениям I, II, III;
- ширина лемеха в различных плоскостях по крепежным отверстиям (h_i);
- потери размеров носка Δh ;
- прогиб лемеха k .

Измерения линейных размеров проводились штангенциркулем с глубиной номером ШЦ-II-0,05 ГОСТ 166-80, глубина износа и прогиб лемеха - с помо-

щью металлической линейки, причем учитывалась ее толщина как постоянная погрешность.

При измерении потери размеров носка Δh , а также в случаях, когда измеряемый лемех имел износ плоскости, прилегающей к отвалу, использовался шаблон – имитатор нового лемеха, выполненный в натуральную величину из плексигласа без магазина, что способствовало упрощению проведения измерений (рисунок 1.15).

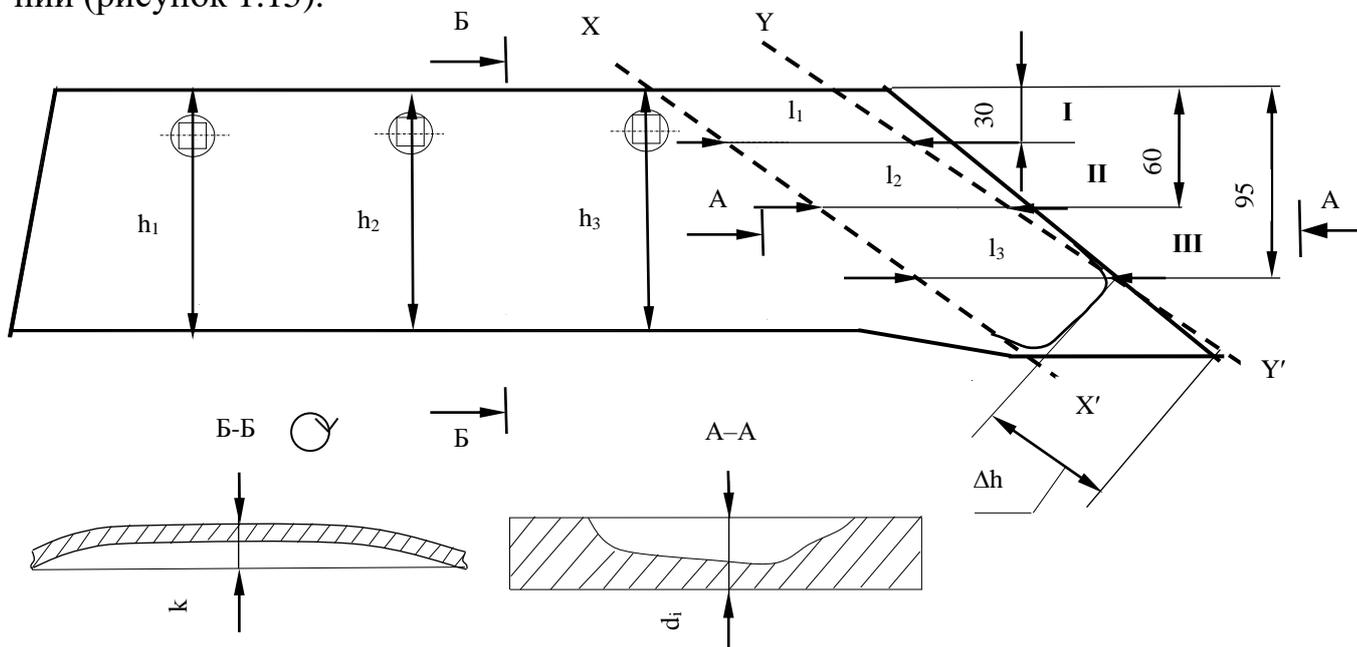


Рисунок 1.14 – Схема измерения лучевидного износа: I, II, III – плоскости замеров; X'-X, Y'-Y – границы дефекта; l_i – ширина лучевидного износа; d_i – глубина лучевидного износа; k – прогиб лемеха; h_i – ширина лемеха в различных плоскостях по крепежным отверстиям

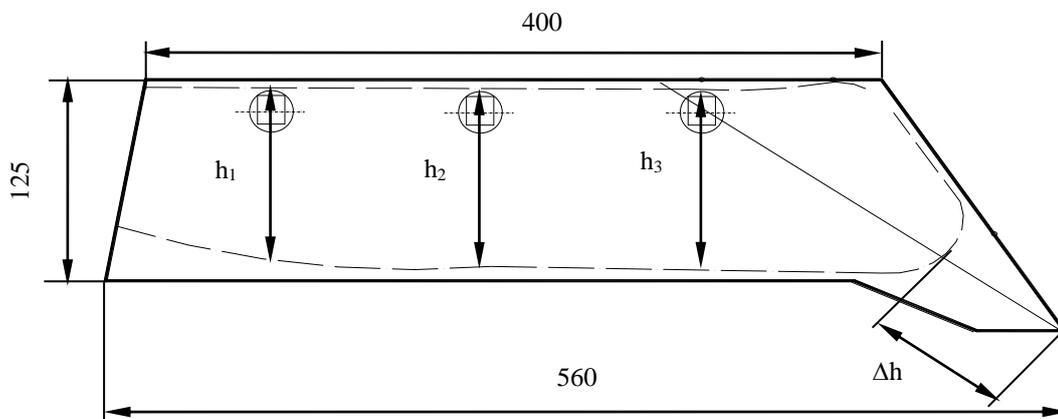


Рисунок 1.15 – Измерение параметров лемеха: — — макет лемеха, - - - - - изношенный лемех, Δh – потери размеров носка лемеха

Обработка и анализ полученных данных проводилась с помощью программы Microsoft Excel, применялись методы математической статистики и устанавливалась теснота связи между параметрами лучевидного износа.

2.7.2 КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ПРИЗНАКОВ ЛУЧЕВИДНОГО ИЗНОСА

Качественный анализ признаков лучевидного износа проводился, как уже отмечалось ранее, на выборке объемом 220 деталей, имеющих этот дефект. Изучались лемеха в состоянии поставки, которые эксплуатировались на наиболее распространенных почвах Юго-Западного региона России. По гранулометрическому составу эти почвы делятся на песчаные, супесчаные, суглинистые и глинистые (Приложение А). В связи с этим, следует ожидать большого разнообразия геометрического характера износа в той или иной мере связанного с образованием его лучевидной формы. Многочисленность форм износа во многом также обуславливается нарушением технических норм эксплуатации.

Многолетний опыт (4 года) наблюдения за износом лемехов и детальное их изучение на указанной выборке позволил предложить классификацию лучевидного износа по качественным признакам. В качестве основных критериев приняты: наличие износа, обломов и изгибов носка – как определяющих предельное состояние лемеха, отсутствие износов носка (рисунок 1.16).

При этом износ изучаемых лемехов по ширине находился в пределах допускаемых агротехническими требованиями.

В итоге лучевидный износ можно оценить как: 1 – без выхода на полевой обрез; 2 – с выходом на полевой обрез; 3 – со сквозным протиранием без выхода на полевой обрез; 4 – со сквозным протиранием с выходом на полевой обрез (рисунок 1.16). Цифрами отмечены признаки.

Между тем, имеют место случаи совмещения вышеперечисленных признаков, но в работе они не учитываются, вследствие небольшого количества таких деталей (очень низкий коэффициент повторяемости $k = 0,008$) и необходимости их выбраковки.

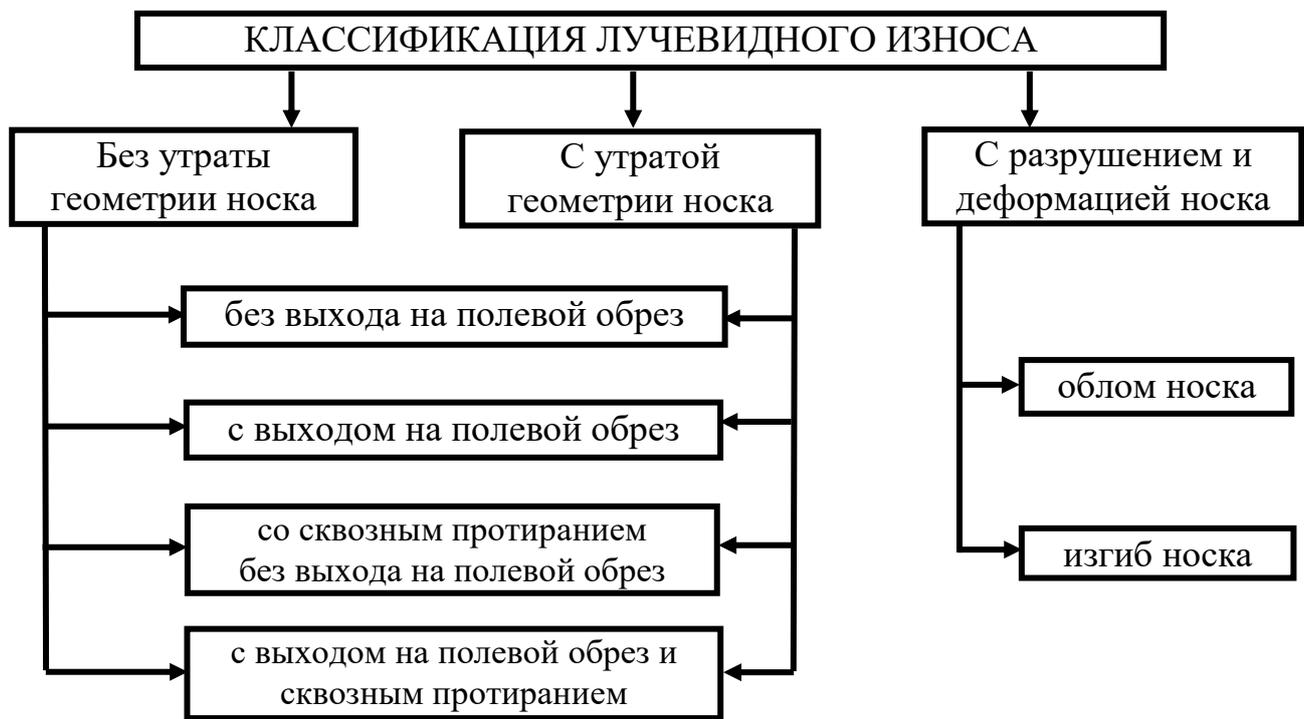


Рисунок 1.16 – Классификации лучевидного износа по качественным признакам

Наряду с качественной оценкой проводились соответствующие расчеты выборки изучаемых деталей (рисунки 1.17, 1.18, 1.19) для определения числовых значений указанных признаков.

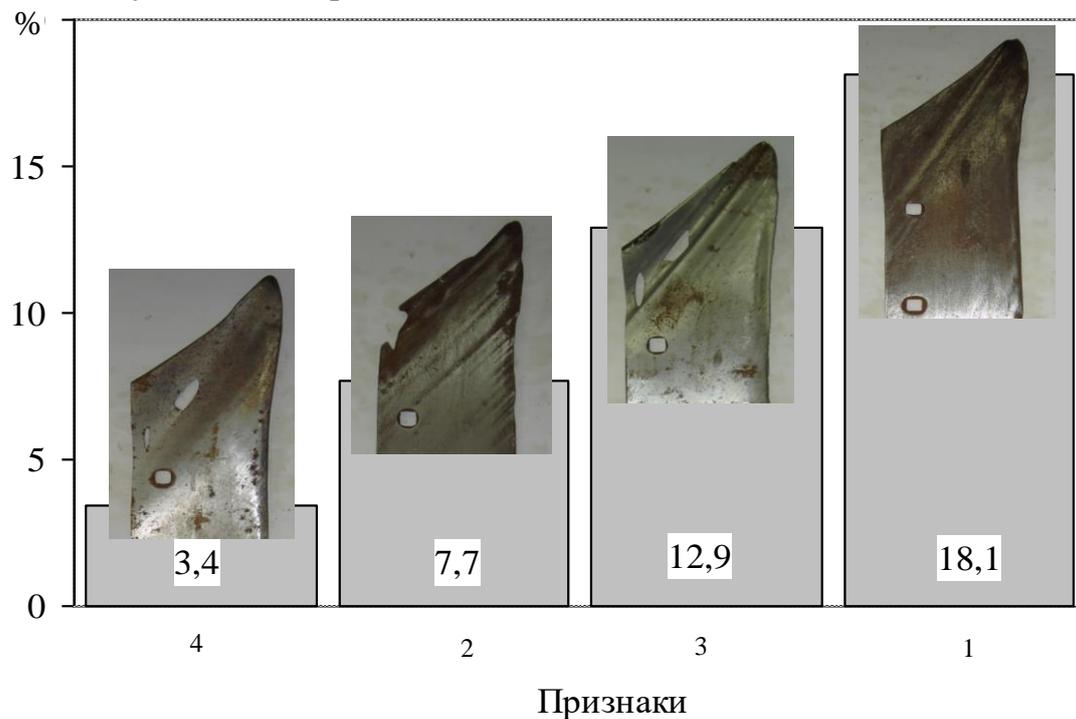


Рисунок 1.17 – Распределение дефектов по качественному признаку при сохранении размеров носка

Исходя из данных, отображенных на рисунке 1.17, следует, что общее количество деталей, имеющих лучевидный износ и при этом сохранивших геометрические параметры носка, удовлетворяющих техническим условиям, составляет 42,1 % от общего числа рассматриваемых лемехов. При этом восстановлению по технологии двухслойной наплавки подлежит около 30% таких деталей, так как в этом случае имеет место сохранение всех геометрических параметров, необходимых для качественной вспашки (рисунок 1.17). Лемеха, имеющие нарушения по размеру полевого обреза, могут быть восстановлены другими способами.

Высказанное выше предположение о разнообразии дефектов, связанных с лучевидным износом, подтверждается проведенным анализом. Так лемеха с потерей размеров носка, включают в себя четыре варианта признаков, аналогичных описанным выше (рисунок 1.18). Суммарное количество – 53,5%, что несколько больше числа лемехов, не утративших размеры носка. Это можно объяснить большими площадями под пашню, имеющими структуру супесей и песков в сравнении с наличием легкосуглинистых и суглинистых почв [137].

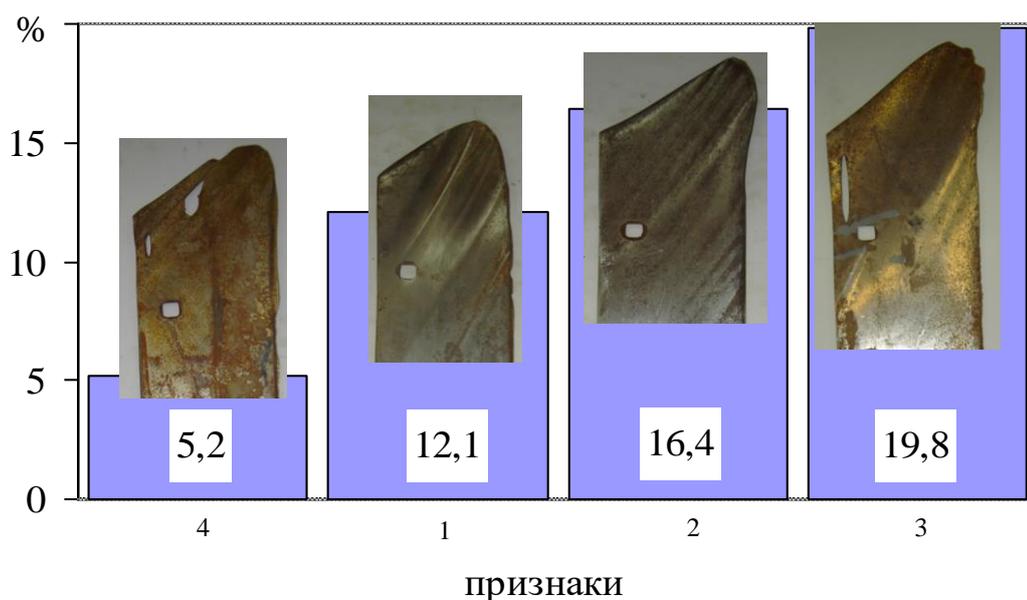


Рисунок 1.18 – Распределение дефектов по качественному признаку при потере геометрии носка

Для таких типов почв отмеченные дефекты являются характерными и обусловлены их сравнительно высокой изнашивающей способностью (*i*).

Достаточно широкий диапазон вариантов дефектов по критериям износа носка или при его отсутствии, по-видимому, связан с эксплуатацией лемехов на почвах различного гранулометрического состава, изменяющейся влажности, нарушения эксплуатационных норм, сезонности полевых работ. Наряду с дефектами (качественными признаками) 4,4 % деталей имеют разрушения и деформации, носящие случайный характер (рисунок 1.19).

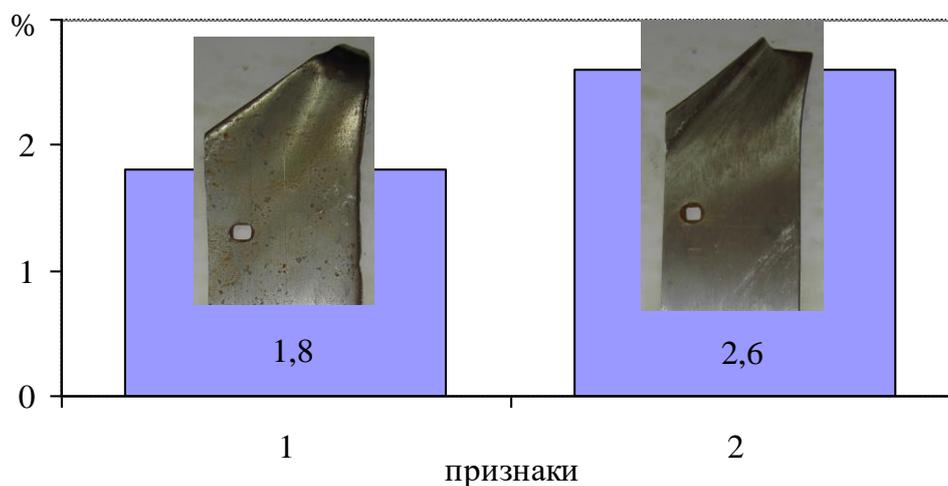


Рисунок 1.19 – Распределение дефектов по качественному признаку при разрушении и деформации носка (варианты качественной оценки: 1 – изгиб носка, 2 – излом носка)

Таким образом, по результатам проведенного анализа установлено, что 30 % лемехов, имеющих предельное состояние из-за наличия лучевидного износа, могут быть восстановлены двухслойной наплавкой, так как остальные геометрические размеры удовлетворяют агротехническим условиям и не требуют технологических воздействий.

2.7.3 ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЛУЧЕВИДНОГО ИЗНОСА ЛЕМЕХОВ

Исследование лучевидного износа в области носка плужного лемеха проводилось на выборке объемом 36 штук из партии деталей в состоянии поставки, отказавших после пахоты 8...18 га на супесчаных и легких суглинистых почвах соответственно. Изучаемые лемеха, имевшие данный дефект, сохранили размеры: по ширине, носка, толщине и удовлетворяющие техническим нормам. Дей-

ствительно, в условиях интенсивного абразивного изнашивания, характерного для таких почв, потеря работоспособности, выраженная не только в образовании таких дефектов, как износ и закругление носка, износ по ширине, наличие лучевидного износа влечет за собой нарушение агротехнических требований, что делает их дальнейшую эксплуатацию нецелесообразной, если невозможной. Судя по изложенным в 1.3 данным (коэффициент повторяемости 0,84), преобладающую роль в ограничении наработки играет лучевидный износ.

Ранее отмечено, что образование лучевидного износа наблюдается при сохранении геометрии носка у 30 % лемехов, однако в данном случае потери металла в этой области могут способствовать снижению прочности носка лемеха, способствующие появлению изгибов и разрушений. Кроме того, необходимо учитывать, что остаточная толщина в области лучевидного износа должна составлять не менее 2 мм, так как в противном случае возникают затруднения при проведении восстановительных воздействий.

Следует отметить, что достаточно часто при сохранении геометрии носка и других размеров лучевидный износ сопровождается сквозным протиранием – 16,3 %, наличие которого можно объяснить высоким удельным давлением пласта в этих точках [Севернев] и переменной толщиной лемеха по вертикальному сечению (магазин, паз в верхней части). В определенной мере, отрицательную роль играет и неправильная эксплуатация. В рассматриваемой группе – 3,4 % деталей сочетают в себе три отличительных признака: сохранение остроты носка, выход на полевой обрез и сквозное протирание.

Таким образом, лучевидный износ способствует нарушению агротехники, приводит к образованию изгибов, трещин и сквозных протираний, ограничивает ремонтпригодность. Совокупность отмеченных пороков ограничивает суммарный ресурс лемеха.

Многочисленные работы по анализу износов, как правило, сводятся к изучению изменения размеров носка, ширины, иногда толщины лемеха. Недостаточно публикаций по статистическому анализу геометрии лучевидного из-

носа либо они носят поверхностный характер. поэтому на основании полученных данных проводился подробный статистический анализ износов по параметрам l_i ; d_i ; k ; Δh ; h_i .

Ранее было определено, что угол наклона лучевидного износа от носка к верхней стыковочной плоскости составляет примерно $50...55^\circ$ [138]. Однако, при проведении исследований не учитывались лемеха, лучевидный износ которых выходит на полевой обрез. В тоже время при сохранении остроты носка у 7 % и при утрате остроты носка у 12 % деталей, верхняя граница дефекта выходит на полевой обрез, то есть угол наклона лучевидного износа отличается от ранее установленного и составляет около 35° . Такой разброс этого параметра, по всей вероятности, возникает из-за особенностей механического строения почвы, ее физических свойств (влажность, плотность), и его следует учитывать при разработке технологий упрочнения и восстановления лемеха.

В результате статистического анализа исходных данных (Приложение таблица 1) для соответствующих сечений был получен ряд оценочных параметров – среднее, максимальное, минимальное значения для l_i , d_i , k , Δh ; среднеквадратическое отклонение σ и коэффициент вариации v (таблица 1.5):

Таблица 1.5 – Результаты статистического анализа

№ сечения	l_{\max}	l_{\min}	$l_{\text{среднее}}$	σ	v
I–30 мм	76	21	43,39	13,55	0,31
II–60 мм	74	20	44,58	13,64	0,31
III–95 мм	69	18	42,67	11,48	0,27

№ сечения	d_{\max}	d_{\min}	$d_{\text{среднее}}$	σ	v
I–30 мм	7,2	1,5	3,66	1,50	0,41
II–60 мм	9,3	1,7	4,08	1,70	0,42
III–95 мм	9,6	1,5	3,95	1,56	0,39

	max	min	среднее	σ	v
k	5,1	0	2,42	1,2	0,52
Δh	90	2	46,81	22,64	0,48

Определенный интерес представляет рассмотрение разбросов измеренных геометрических параметров, оцениваемых коэффициентом вариации v .

Параметр l_i , выражающий ширину лучевидного износа, имеет $v = 0,27 \dots 0,31$; что показывает на незначительное рассеивание экспериментальных данных и позволяет отметить достаточную стабильность указанного параметра для этих типов почв.

Значение d_i – глубины лучевидного износа имеет $v = 0,39 \dots 0,41$. Это подтверждает постоянство протекания процесса изнашивания.

При анализе значения k – прогиба лемеха установлено, что коэффициент вариации имеет сравнительно большую величину обусловленную, по-видимому, нарушением стабильности условий эксплуатации, то есть имеет место некоторое увеличение количества факторов, вследствие сравнительно большой площади рабочей поверхности.

Параметр потери размеров носка Δh имеет коэффициент вариации 0,48. Такую величину рассеивания можно объяснить неравномерностью износа носка в зависимости от условий эксплуатации и сложной пространственной схемой действия внешних сил.

Изменение геометрических параметров лучевидного износа зависит от множества факторов: типа почвы, влажности, скорости передвижения абразивных частиц, соблюдения технологических приемов изготовления и эксплуатации, которые непостоянны во времени и обуславливают их случайный характер.

Величина l_i , имеющая $v < 0,33$, распределена по нормальному закону [139]; наиболее часто встречаются величины: для ширины лучевидного износа: l_1 от 43 до 52 мм; l_2 от 38 до 47 мм; l_3 от 38 до 46 мм, вероятность появления которых колеблется от 19 до 33 % (рисунок 1.20).

Распределения параметров d_i (рисунок 1.21) носит характер отличный от нормального и приближено к распределению Пуассона [140], что подтверждается разбросами этих значений ($v > 0,33$).

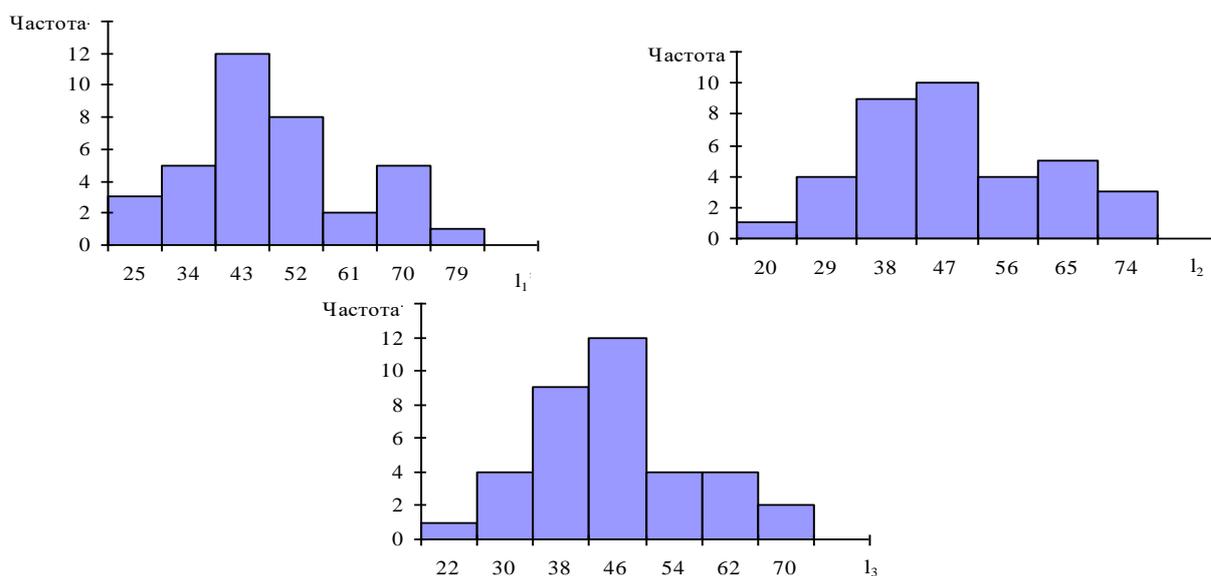


Рисунок 1.20 – Распределение ширины лучевидного износа (l_i , мм)

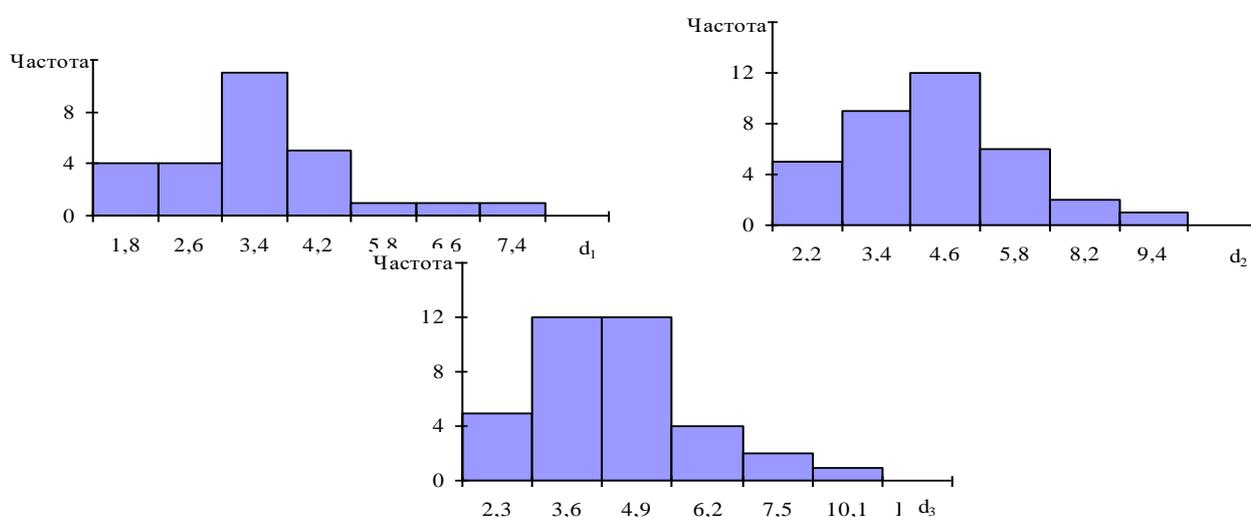


Рисунок 1.21 – Распределение глубины лучевидного износа (d_i , мм)

Однако проведенный анализ не позволяет выявить определенную картину расположения лучевидного износа относительно полевого обреза, нижней и верхней частей носка. Немаловажное значение для разработки технологии восстановления и их приемов имеют сведения по распределению износов d_i как по толщине, так и по образующей лучевидного износа (рисунок 1.22).

В связи с этим, возникла необходимость в геометрическом моделировании лучевидного износа.

Графическое построение лучевидного износа по средним данным размеров l_i

и d_i , Δh с помощью программы «AutoCAD 2007» дало возможность смоделировать его форму (рисунок 1.22), несколько отличную от общепринятой, при сохранении геометрии носка лемеха.

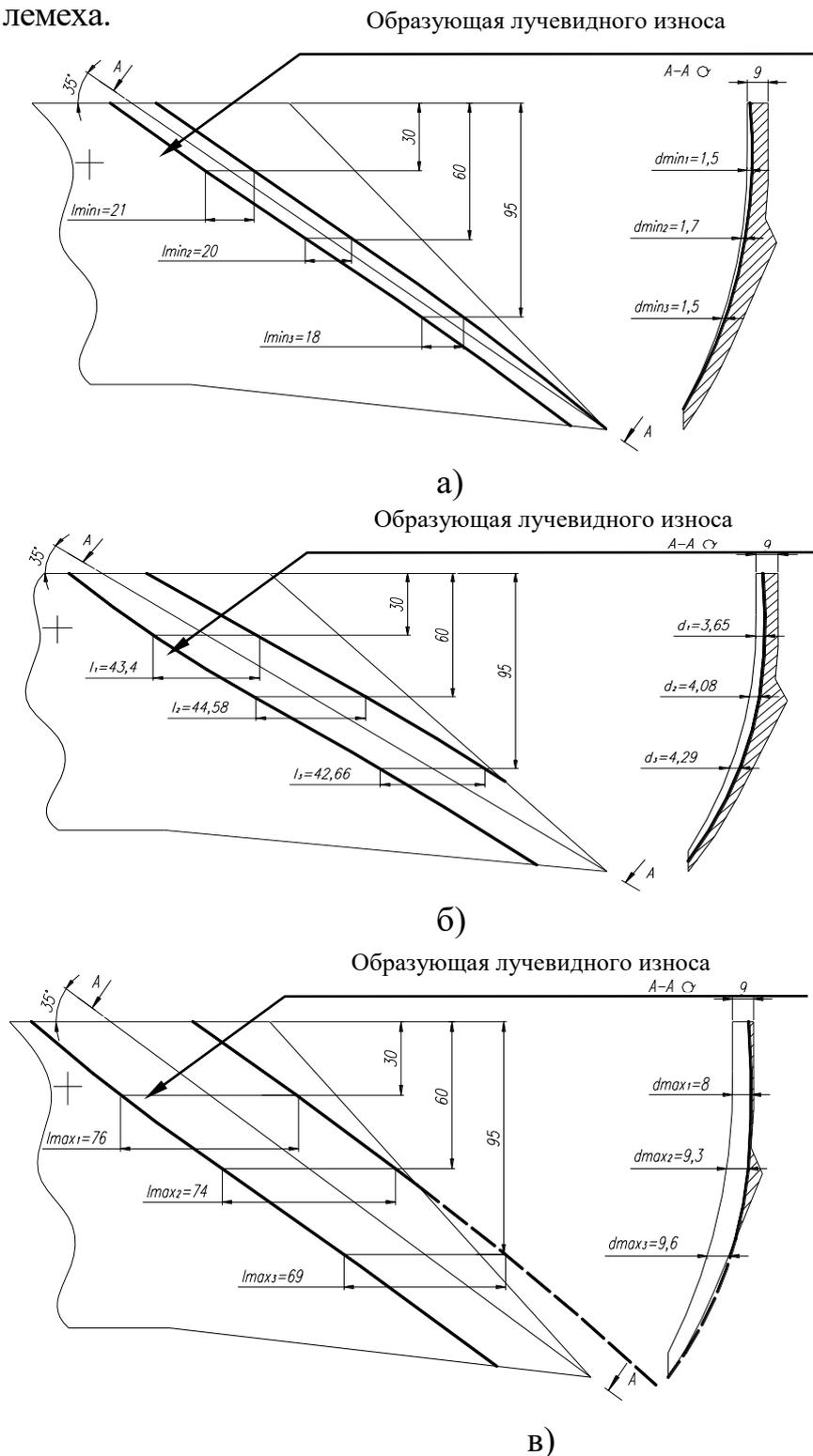


Рисунок 1.22 – Форма лучевидного износа, полученная по результатам статистической обработки экспериментальных данных а) по наименьшим; б) по средним; в) по наибольшим

Система построения модели:

1. За образующую принята линия, проведенная из носка под углом 35° к обрезу лезвия (на рисунке 4.7 поверхность, примыкающая к отвалу).

2. По сечениям I, II, III от образующей откладываются $l_i/2$. В результате получено геометрическое расположение лучевидного износа по рабочей поверхности носка лемеха.

3. Соответственно I, II, III построена геометрия изменения износа по толщине лемеха в сечении по образующей. Для наглядности изменений d_i сечение А-А представлено в повернутом виде и его размеры не выходят за рамки периметра лемеха.

При разработке и проведении восстановительных воздействий следует учитывать ширину – 40... 75 мм и глубину – 1,5...9,6 мм лучевидного износа, что позволит практически полностью восстановить зону образования лучевидного износа.

2.7.4 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОМЕТРИИ ЛУЧЕВИДНОГО ИЗНОСА

Существует достаточно большое количество работ, посвященное анализу дефектов плужных лемехов. Между тем, исследования ограничиваются, как правило, подсчетом коэффициентов повторяемости того или иного порока, либо установлением закона распределения с соответствующим статистическим анализом. Отмеченное выше не всегда является достаточным при разработке технологий восстановления этой детали. Так практически отсутствуют достоверные сведения о связи между собой геометрических параметров дефектов, имеющих место в области носка: лучевидного износа, утеря размеров нижней части носка и нарушения размерной стабильности – изгиб лемеха.

В связи с этим ставилась задача установить тесноту связи и получить математические модели между следующими геометрическими параметрами размерами износов: шириной лучевидного износа – l_i ($l_1; l_2; l_3$) и его глубиной – d_i ($d_1; d_2; d_3$); Δh – утерей размеров носка лемеха и $l_i; d_i; k$ – прогибом лемеха и глубиной износа d_i (схема измерений приведена на рисунке 3.2). Измерение

ширины и толщины лемеха не учитывалось в проведенных исследованиях, так как в работе показано фактическое отсутствие связи между отмеченными значениями и размером Δh . Так коэффициенты корреляции (R) между Δh и l_1 ; l_2 ; l_3 составляют соответственно 0,20; 0,18; 0,24, аналогичная ситуация наблюдается между Δh и d_1 ; d_2 ; d_3 – 0,12; 0,02; 0,03.

Исследования проводились методом корреляционно-регрессивного анализа с применением программы Microsoft Excel.

Построение общей модели разделено на несколько этапов:

1. Установление тесноты связи и математической зависимости между износами, характеризующими непосредственно лучевидный износ l_i и d_i .

Как показал корреляционно-регрессивный анализ наблюдается тесная связь между глубиной лучевидного износа d_i и соответствующий шириной l_i . Нужно сказать, что в большинстве случаев такая связь носит функциональный характер (таблица 1.6) Причем, по мере приближения к носку коэффициент корреляции уменьшается. Это вызвано протеканием сложных процессов изнашивания, часто не связанных друг с другом. Указанную зависимость, возможно, использовать при прогнозировании предельного состояния лемеха.

Таблица 1.6 – Коэффициенты корреляции (R) между d_i – d_i ; l_i – l_i и d_i – l_i

Параметры	d_1 – d_2	d_2 – d_3	d_1 – d_3	l_1 – l_2	l_2 – l_3	l_1 – l_3	d_1 – l_1	d_2 – l_2	d_3 – l_3
R	0,80	0,89	0,63	0,98	0,96	0,94	0,81	0,73	0,67

Математические зависимости (рисунки 1.23; 1.24; 1.25) имеют прямолинейную зависимость.

С увеличением глубины износа в любом сечении происходит увеличение d_i и по другим сечениям. Отмечено, что большие значения d_i имеют место в нижней части носка из-за повышенных давлений почвы в этой области.

Ширина l_i в любой плоскости растет с ростом l_i в других плоскостях. Наблюдается изменение ширины носка в верхней плоскости в сторону увеличения, по сравнению с другими плоскостями, хотя глубина имеет в сравнении с сечениями II и III меньшую величину. Рост ширины в I сечении связан с вин -

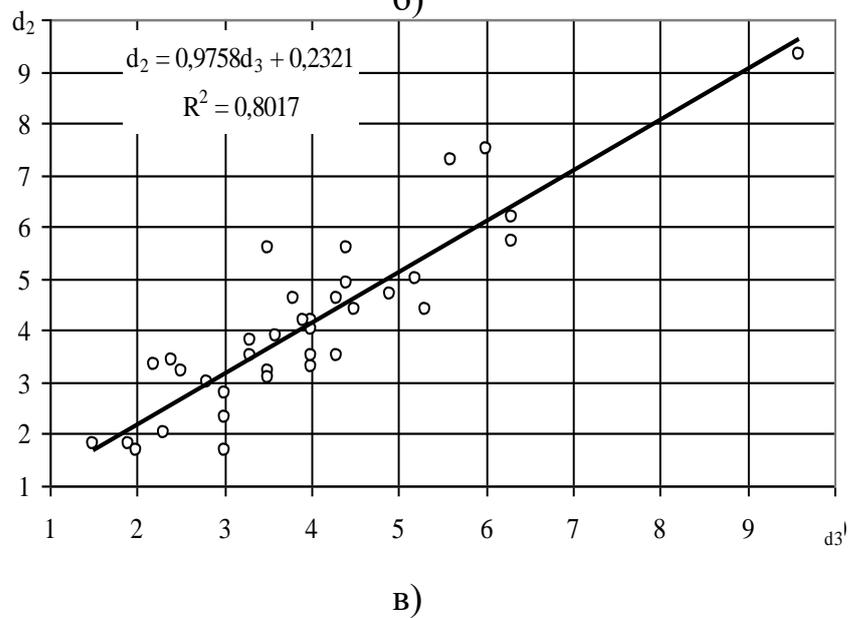
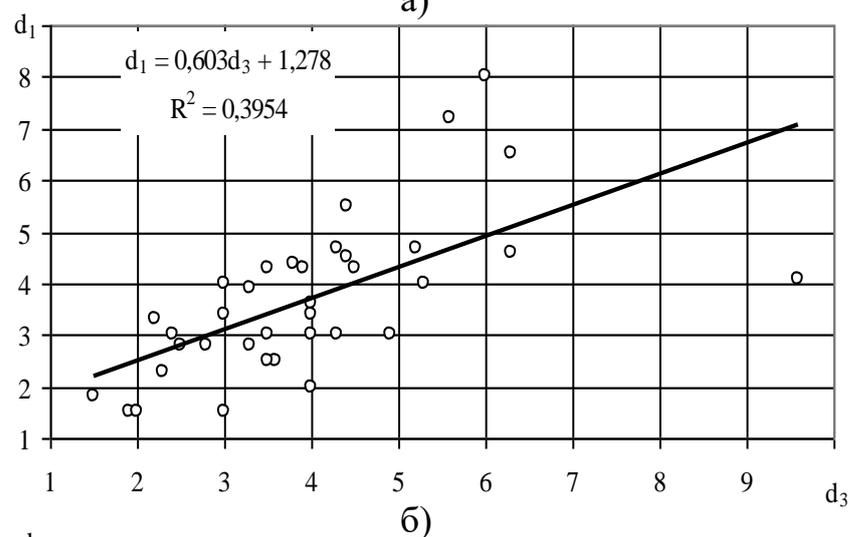
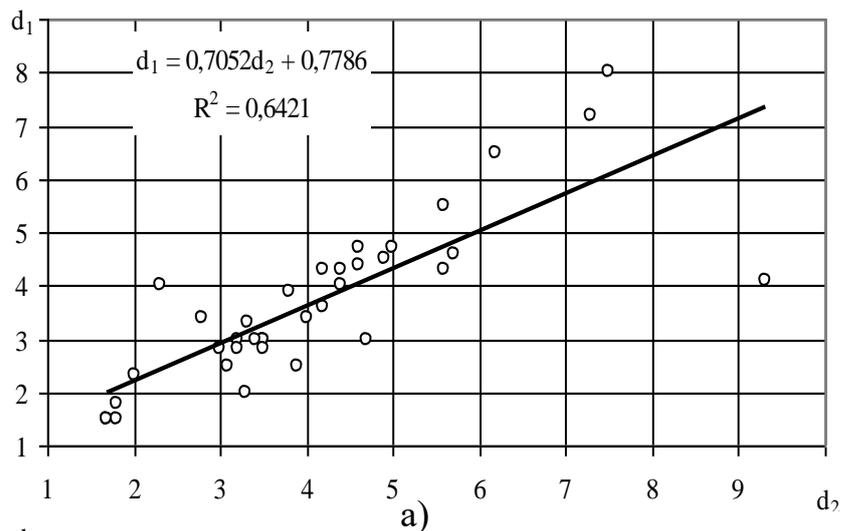
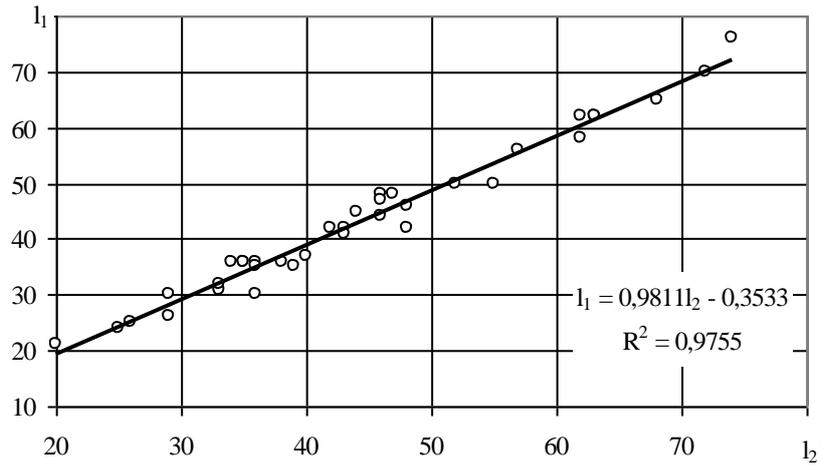
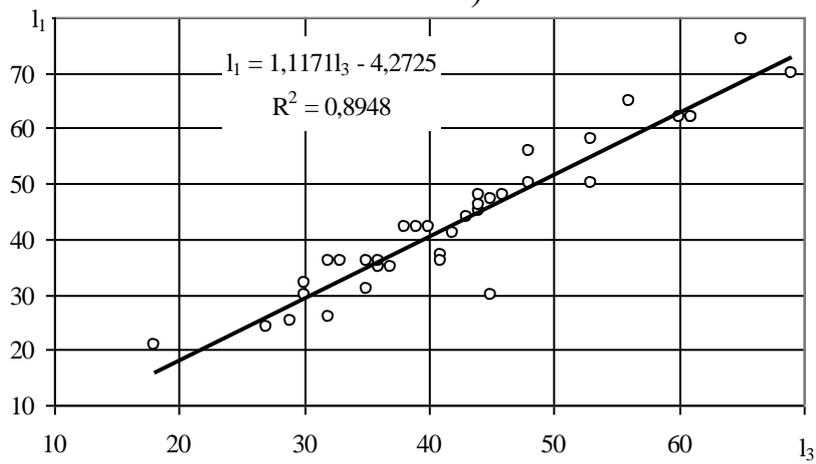


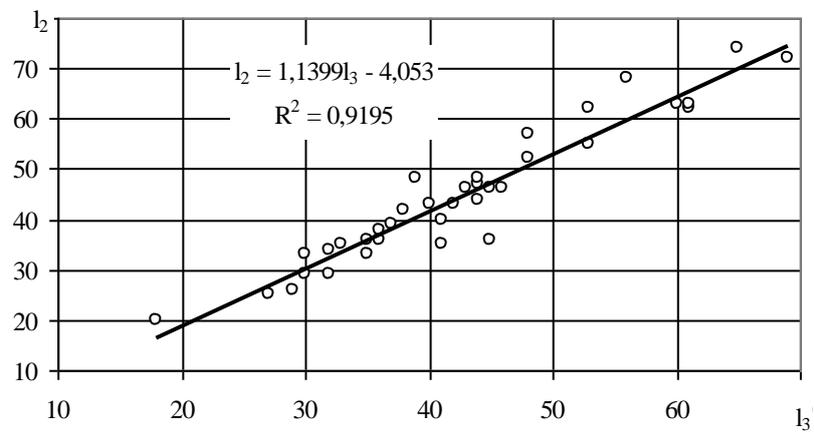
Рисунок 1.23 –Изменения глубины лучевидного износа d_i ,мм в различных сечениях



a)



б)



в)

Рисунок 1.24– Изменение ширины лучевидного износа l_i , мм в различных сечениях

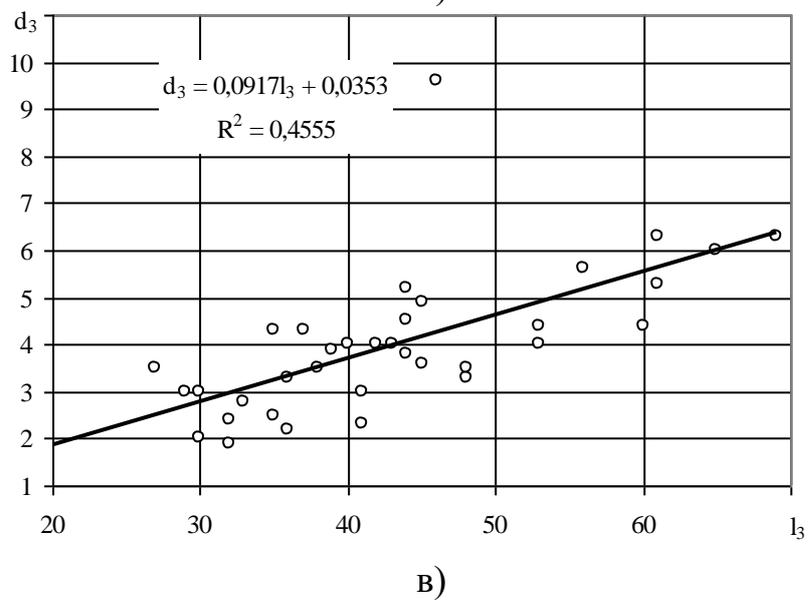
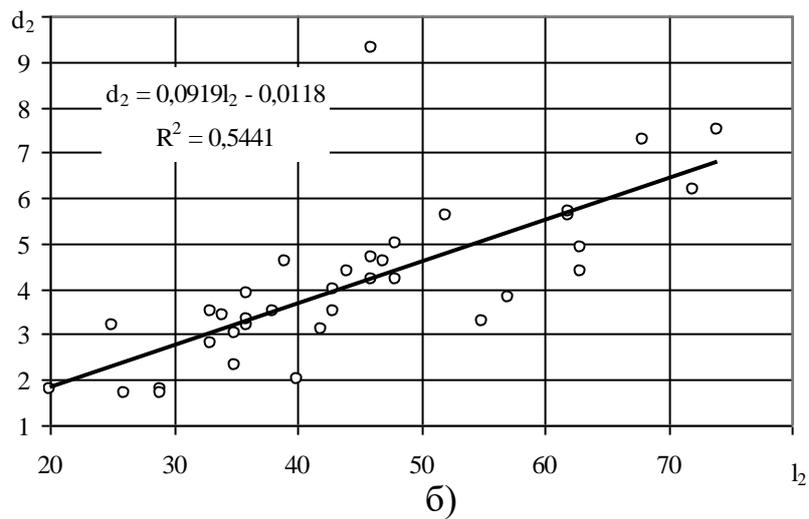
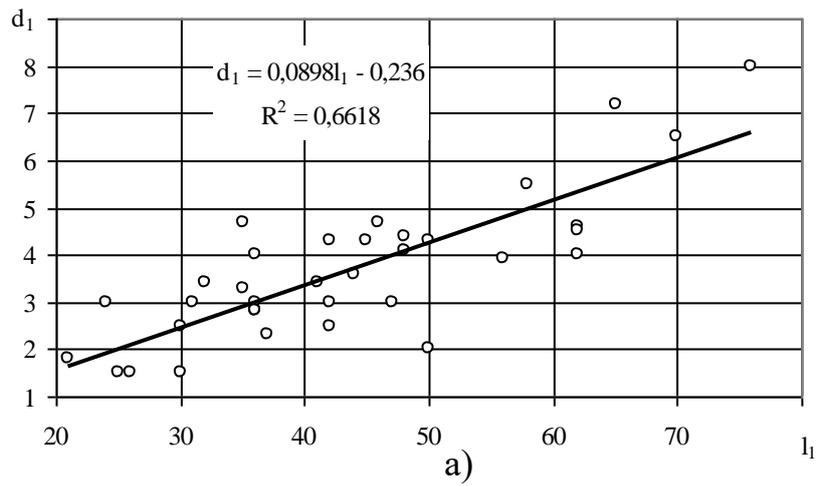


Рисунок 1.25 – Изменение ширины лучевидного износа l_i , мм в зависимости от глубины d_i , мм

товым движением пласта почвы, геометрией поверхности лемеха, обеспечивающее его «веерное» перемещение.

Относительная одинаковость процессов изнашивания в области носка лемеха обуславливает примерно сходный характер математической связи между параметрами d_i и l_i . На это указывает коэффициенты при переменном значении, имеющие фактически одинаковую величину.

2. Установление тесноты связи и математической зависимости между геометрией лучевидного износа и короблением лемеха.

Коэффициенты корреляции между изучаемыми параметрами находятся в границах от 0,30 до 0,39, подчеркивая их слабую связь. Такие значения говорят о фактическом отсутствии влияния размера на d_i и l_i . Поэтому величина изменения размерной стабильности (k) не окажет существенного влияния на формирование лучевидного износа и может не учитываться при создании математической модели (таблица 1.7).

Таблица 1.7– Коэффициенты корреляции (R) между $k-d_i$ и $k-l_i$

Параметры	$k-d_1$	$k-d_2$	$k-d_3$	$k-l_1$	$k-l_2$	$k-l_2$
R	0,30	0,32	0,33	0,39	0,37	0,36

При изучении графиков (Приложение графики луч) замечена тенденция снижения величины коробления при увеличении l_i . По-видимому, стирание части металла в процессе эксплуатации, приводящее к снижению уровня остаточных напряжений в носке лемеха [141] и обеспечивает такую тенденцию.

3. Математическая модель геометрии лучевидного износа.

Исходя из приведенных математических выкладок, следует, что такие размерные факторы как Δh , h_1 , h_2 , h_3 и k не оказывают значимого влияния на форму лучевидного износа и могут не учитываться при создании искомой математической модели. В таком случае, модель сводится к установлению взаимосвязи между глубиной и шириной лучевидного износа как характеристиками его периметра.

В качестве аргумента принята глубина в сечении III наиболее близком к нижней части носка и имеющая максимальное числовое значение, тем самым, определяющая предельное состояние лемеха.

Реализуя статистические данные в программе Excel получено следующее уравнение регрессии:

$$d_3 = 0,046 + 0,025 l_1 - 0,081 l_2 + 0,084 l_3 - 0,239 d_1 + 0,932 d_2 \quad (4)$$

Коэффициенты переменных при кажущейся их малости, являются действительными из-за существенной разности числовых значений d_1 и l_1 .

Величина коэффициента корреляции R равна 0,926 и указывает на функциональную связь между глубиной и шириной рассматриваемого дефекта.

Итак, существующие износы лемеха не оказывают влияния на геометрию лучевидного износа. Все геометрические параметры этого дефекта связаны между собой функциональной зависимостью.

3 МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПЛУЖНЫХ ЛЕМЕХОВ

Увеличению ресурса плужных лемехов посвящено большое количество исследований, причем выделяются следующие основные направления:

- изменение конструкции лемеха [93, 142, 143];
- применение материалов отличных от общепринятых [144, 145, 146];
- использование упрочняющих технологий, как на стадии изготовления, так и после [147, 148, 149, 150, 151, 152];
- восстановление [153];
- восстановление с одновременным упрочнением [154].

Как показывает анализ литературных источников, исследования направленные на повышение ресурса лемехов, в большинстве случаев, ограничиваются их упрочнением. Среди них можно выделить: наплавку твердых составляющих – газовую, дуговую, индукционную, «намораживанием» [90, 155] упрочне-

ние лезвия плазменным нанесением покрытий [107], упрочнение носка пайкой и приклеиванием твердых сплавов или металлокерамики [156, 157, 158]; упрочнение рабочей поверхности наплавочным армированием [159, 130], применение клеевых композитов.

Хотя названные методы и позволяют увеличить ресурс этой детали, однако при этом не снимается вопрос о повышении долговечности после достижения предельного состояния.

Практический опыт и достаточно подробный анализ имеющихся работ позволили заключить, что исследований в области создания технологических процессов восстановления лемехов еще не достаточно.

Кроме того, отсутствует рассмотрение и разработка технологий восстановления лемехов в зависимости от наличия и сочетания различных дефектов, приобретенных при эксплуатации на наиболее распространенных почвах в Нечерноземной зоне Российской Федерации.

Как уже отмечалось, в период пахоты лемех приобретает некоторое количество дефектов, которые очень часто сочетаются. Таким образом, классификация способов восстановления плужных лемехов с помощью распространенных методов [160, 161] вызывает определенные затруднения ввиду непосредственной их связи с дефектами. Это обстоятельство усугубляется еще и отсутствием в настоящее время систематизации способов устранения дефектов по каким-либо признакам.

В связи с этим, предлагается классификация, базирующаяся на универсализации технологических процессов. Под универсализацией в данном случае понимается возможность восстановления определенного количества дефектов – от одного до различного их сочетания у конкретной детали. Таким образом, схема методов устранения дефектов плужных лемехов будет иметь вид представленный на рисунке 1.26.

Следует отметить, что указанные методы могут переплетаться и дополнять друг друга.



Рисунок 1.26 – Схема методов устранения дефектов плужных лемехов

3.1 МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ, ПОЗВОЛЯЮЩИЕ УСТРАНИТЬ ОДИН ДЕФЕКТ

Этими способами устраняются трещины, затупление лезвия, скручивание и что наиболее важно – лучевидный износ, в том случае, когда остальные геометрические параметры лемеха удовлетворяют агротехническим требованиям.

3.1.1 ЗАВАРИВАНИЕ ТРЕЩИН

Технология заваривания трещин состоит в зачистке места сварки до металлического блеска, разделке с обеих сторон детали V – образных канавок и последующей заварки [162]. Разделка канавок обусловлена обеспечением необходимой прочности. Последующая зачистка швов производится только с тыльной стороны в избежание сложностей при крепеже. Устранение трещин носит частный характер и в целом не решает проблему восстановления плужных лемехов.

3.1.2 УСТРАНЕНИЕ ЗАТУПЛЕНИЯ

При затуплении, лемеха затачивают под углом 15...23° (угол самозатачивания) до обнажения твердого слоя [**Ошибка! Закладка не определена.**].

Операция заточки может быть заменена операциями: обрубкой режущей кромки под этим же углом в штампе; оттяжкой; прокаткой лезвия после нагрева [163]; обрезкой под углом воздушно – плазменной струей.

Лемеха с изношенным слоем «Сормайт» оттягивают до тех же размеров, что и перед первой наплавкой, а затем повторно наплавляют твердым сплавом с тыльной стороны слоем толщиной 1,4...2 мм. Оставшийся от предыдущей наплавки сплав этому процессу не мешает. Достигнув предельного состояния по ширине, эти детали требуют восстановления другими способами [164]. Прокатка лезвия и обрезка плазменной струей как методы восстановления не находят своего применения.

Между тем, при работе на песчаных и супесчаных почвах необходимость заточки вообще отсутствует, так как этот процесс является самоорганизующимся.

3.1.3 ПРАВКА ЛЕМЕХА

При нарушении размерной стабильности лемеха – возникновение прогибов, изгибов, скручивания, проводят правку: холодную и горячую.

Прогиб лемеха устраняют ударами молота на наковальне в холодном состоянии, так как он имеет, как правило, незначительную величину от 1 мм до 7,75 мм [128]. В большинстве случаев необходимость в устранении прогиба отсутствует, так как он устраняется при креплении лемеха к стойке.

Лемеха, имеющие изгибы и скручивания значительной величины, а также закаленное лезвие, подвергаются правке в нагретом состоянии до температуры выше температуры рекристаллизации (примерно около 1000° С) [163]. Перед деформированием деталь следует отжечь для улучшения пластических свойств. После правки лезвие необходимо подвергнуть закалке с соответствующим видом отпуска (может быть выбран в зависимости от состава почвы).

Применение правки (холодной или горячей) также не решает проблему восстановления лемехов из-за малого коэффициента повторяемости дефектов. Более того, представленная технология горячей правки достаточно сложна. Холодное же деформирование способствует образованию остаточных напряжений, что может привести к разрушению лемеха в период его работы.

3.1.4 ДВУХСЛОЙНАЯ НАПЛАВКА ЛУЧЕВИДНОГО ИЗНОСА

Как уже было сказано выше, в зависимости от гранулометрического состава почвы зависит не только интенсивность изнашивания, но и характер износа лемеха. На почвах с небольшим удельным сопротивлением. В результате такого износа в области, прилегающей к носовой части образуется лучевидный износ, а в дальнейшем наблюдается и сквозное протирание, при этом геометрические параметры детали сохраняются. Сквозное протирание является следствием неправильной эксплуатации. В итоге лемех достигает предельного состояния при малом изменении линейных размеров [165, 166].

Способ, который бы обеспечил высокую износостойкость истираемой поверхности, требует применения электродных материалов, дающих повышенную твердость поверхности. Использование таких электродов без дополнительных мер приводит к высоким значениям остаточных напряжений и растрескиванию поверхности [167]. Известно, что при наплавке твердосплавными электродами, возможно применение технологических слоев для получения целостности слоя и качества поверхности [168]. Процесс восстановления деталей усугубляется наличием ударных воздействий при эксплуатации лемеха.

Следовательно, необходим поиск такой технологии, которая обеспечила бы повышенную износостойкость поверхностного слоя, необходимую стойкость к ударным воздействиям и была экономически целесообразна [154].

По мнению авторов, такая технология состоит в наплавке 1-го слоя малоуглеродистыми электродами для электродуговой сварки и последующим наваривании 2-го слоя электродом, обеспечивающим высокую твердость поверхно-

сти (рисунок 1.27), позволяющую повысить износостойкость к абразивному изнашиванию. Для различных типов почв возможно применение разнообразных технологических приемов, например: 1) наплавка первого слоя и без его охлаждения второго; 2) наплавка первого слоя, его охлаждение, затем наплавка второго. Возможна обварка контура носка при пахоте на почвах с высокой изнашивающей способностью. Предварительные испытания лемехов, восстановленных таким образом, дали положительные результаты.



Рисунок 1.27 – Схема двухслойной наплавки

Между тем исследований, посвященных данному способу не достаточно. Отсутствуют сведения о наработке, не изучено влияние остаточных напряжений на работоспособность лемеха, не проведены исследования структуры и механических свойств, полевые испытания восстановленных таким способом лемехов так же отсутствуют, влияние двухслойной наплавки на нарушение размерной стабильности неизвестны, не отработаны технологические приемы наплавки, нет результатов по влиянию метода на изменение тягового сопротивления, необходимо так же обоснование выбора электродного материала.

3.2 МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ, ПОЗВОЛЯЮЩИЕ УСТРАНИТЬ ДВА ДЕФЕКТА

Как показывают многолетние наблюдения, в зависимости от гранулометрического состава почвы, условий эксплуатации сочетание двух дефектов у лемехов может выражаться наличием:

- износа по ширине и затупления лезвия;
- износов по ширине и области, примыкающей к полевому обрезу (торец);

- износ носка и образование лучевидного износа;
- износ по ширине и трещины, изгибы, прогибы;
- износов по ширине и носка;
- износов по ширине и толщине.

Поэтому выбор и использование технологии восстановления зависят, прежде всего, от сочетания дефектов, состояния и технических возможностей ремонтно-производственной базы.

3.2.1 ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЛЕМЕХА УСТАНОВЛЕНИЕМ КЕРАМИЧЕСКИХ ПЛАСТИН ПАЙКОЙ

В 80-х годах прошлого века в ряде стран для упрочнения рабочих органов было предложено использовать техническую керамику на основе оксида алюминия. Вставки из керамики крепили в открытых пазах с помощью эпоксидного клея [164]. При относительно высокой износостойкости наблюдалась недостаточная стойкость керамики к ударным воздействиям и низкая прочность клеевого соединения. Дальнейшее усовершенствование технологии восстановления лемехов металлокерамическими пластинами наплавкой [169], и пайкой [170] позволило считать это направление перспективным для обработки некаменистых почв.

Сущность процесса заключается в том, что с лицевой стороны лезвия припаиваются твердосплавные пластины со сплошным или прерывистым расположением. Для подготовки лемеха к пайке пластин применяют фрезерный станок, с помощью которого снимается слой глубиной 1,5...2,0 мм с поверхности лезвия и области, примыкающей к полевому обрезаю. Пайка производилась водородно-кислородным пламенем, с использованием флюса Ф-100 и листового припоя Л63 толщиной 1 мм [158, 171]. Помимо высокой стоимости и дефицитности керамических материалов, применение восстановленных керамикой лемехов для обработки каменистых почв малоэффективно в силу того, что эти материалы обладают низкой ударной вязкостью, и слабо противостоят динамич-

ческим воздействиям при столкновении с каменистыми включениями. Таким образом, метод может применяться ограничено, кроме того, применение керамики, по мнению ряда специалистов, не всегда экономически эффективно. Как способ восстановления вызывает серьезные сомнения.

3.2.2 ОТТЯЖКА НОСКА И ЛЕЗВИЯ ЛЕМЕХА

Изношенные по ширине и затупившиеся лемеха плугов, оттягивают в нагретом состоянии ручной ковкой или на молоте специальными бойками [102]. Указанный метод является самым распространенным. Даже заводами–изготовителями предусмотрены меры по повышению ремонтпригодности лемеха путем выштамповки запаса металла с тыльной стороны, так называемого «магазина».

Оттяжка требует наличия дополнительного материала с тыльной стороны «магазина», что усложняет процесс изготовления лемеха. Кроме того, после оттяжки необходима дополнительная термообработка (закалка, отпуск), а это не всегда проводится в ремонтных мастерских.

При большом износе по ширине лемех оттягивают в нагретом состоянии быстрыми ударами ручным молотом или на пневматическом молоте специальными бойками [172]. Во время оттягивания лемеха кузнечным способом лезвие по всей его длине нагревают в горне на ширину 60...70 мм до 900°...1000°С. сначала его медленно нагревают до 500°...600°С, затем чтобы избежать появления трещин скорость нагрева увеличивают. Лемех кладут на наковальню рабочей поверхностью и частыми ударами оттягивают при температуре более 800°С (при меньшей могут появиться трещины) сначала носок, а затем лезвие до нормальных размеров. Оттянутую часть выравнивают гладилкой. В процессе и конце оттяжки лемех проверяют по шаблону. После оттяжки и закалки его затачивают на обдирочно-шлифовальном станке. Лемеха, изготовленные из сталей Л53, Л50, Ст.5 нагревают до 780 ...820°С и закаливают, погружая лезвие в воду на 5...6 с, затем отпускают на воздухе после повторного нагрева до 300...350°С. Лемеха закаливают на 1/3 их ширины. Твердость рабочей зоны лемеха после закалки

проверяют переносным твердомером ТЭМП–4, если производство имеет массовый характер. При небольших объемах восстановления возможна проба напильником, который должен скользить по лезвию, не снимая стружки.

Возникают серьезные трудности с определением температур оттяжки и термической обработки в условиях предприятий товаропроизводителей. Данный метод не приемлем для восстановления лемехов, имеющих лучевидный износ без его предварительного устранения.

3.2.3 ЗАПЛАВКА ЛУЧЕВИДНОГО ИЗНОСА ЛЕМЕХА С ОТТЯЖКОЙ И ПОСЛЕДУЮЩИМ УПРОЧНЕНИЕМ АРМИРОВАНИЕМ

При образовании лучевидного износа и нарушении геометрии носка поверхность лемеха восстанавливается путем ручной или полуавтоматической наплавки электродного материала в виде валиков шириной 3...4 мм, наносимых на изношенную поверхность носовой части [173].

Наплавка осуществляется вдоль «лодки износа»; валики наплавлялись через 3 мм друг от друга, после остывания на воздухе в течение 5 минут, во избежание коробления, между первыми валиками наваривают вторые. Если имеется сквозное истирание лемеха, то место износа обваривают по краю отверстия электродом диаметром 3 мм с силой сварочного тока $I = 120$ А, валики наносятся незначительной длины друг за другом, либо с противоположной стороны на встречу друг другу с предварительным остыванием, во избежании прожогов. Последующие валики наносятся на предыдущие до тех пор, пока место износа не заварится полностью. Для восстановления лемеха требуется 4...6 электродов, диаметром 3...4 мм. Диаметр электрода обуславливается минимальной толщиной изношенной части

После устранения сквозного истирания незначительной величины производят заплавку всего «эллипсоида». Возможно использование наплавки в среде углекислого газа во избежание прожогов. Валики наносятся вдоль и параллельно друг другу, первый слой наплавляется электродом диаметром 3 мм с силой свароч-

ного тока $I = 120...130$ А, последующие электродом диаметром 4 мм с силой сварочного тока $I = 140...160$ А, до тех пор пока наплавленный слой не сравняется с рабочей поверхностью. После чего лемех поворачивают, и производят заправку получившегося углубления с обратной стороны. Во избежания коробления восстанавливаемой области и для увеличения производительности одновременно возможно восстанавливать до 4 лемехов.

Восстановление производилось сварочным аппаратом постоянного тока, электродами марки Э-42 (возможно использование сварочного трансформатора), хотя качество наплавленного участка будет хуже.

После наплавки восстановленные лемеха подвергаются вытяжке (протяжке) за счет «магазина». Правильный выбор температуры нагрева во многом определяет качество протяжки. Если лемех нагрет недостаточно, то он с трудом поддается ковке и приобретает определенные дополнительные остаточные напряжения вследствие наклепа, при слишком высоком нагреве снижаются механические свойства металла из-за возможного перегрева. Температура нагрева стали определяется по цвету каления, что весьма условно. При оттяжке лемех нагревают до температуры не менее 1200° С (светло-красный или светло-желтый цвет нагрева).

Для упрочнения восстановленного лемеха рекомендуется использовать наплавочное армирование – наваривание валиков на рабочую поверхность малоуглеродистым электродом [174]. Геометрия наваривания валиков может быть различна в зависимости от изнашивающей способности почвы (рисунок 1.28).

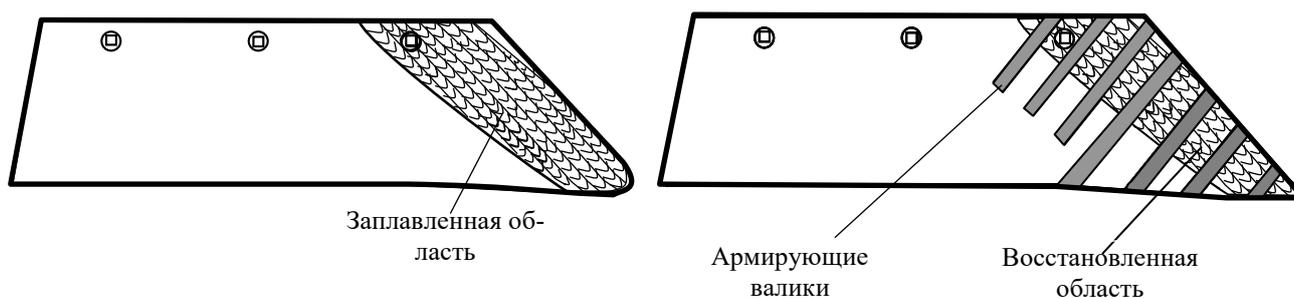


Рисунок 1.28 – Лемех после заправки лучевидного износа с последующим армированием

Указанные технологические приемы обеспечивают наработку – 16-20 га, что на 60-100 % больше, чем у серийных лемехов [154].

Рассмотренная технология восстановления лемеха с этими дефектами имеет определенные недостатки. Восстановление ограничивается количеством лемехов, которые имеют сквозные протирания значительной величины, и их остаточная толщина в зоне лучевидного износа не превышает 2 мм. Последнее обуславливается трудностями при заправке износа из-за возможности прожога. Но основным фактором, ограничивающим применимость этого способа, является сложная технологическая цепочка: поэтапная заправка износа с периодическим охлаждением; оттяжка; упрочнение сварочным армированием с периодическим охлаждением. При использовании «магазина» применить описанный способ не представляется возможным. Значительные термические воздействия, имеющие циклический характер, по-видимому, скажутся отрицательно на дальнейшей работоспособности лемеха.

3.2.4 ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЛЕМЕХА ПРИВАРКОЙ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Значительные возможности по продлению долговечности лемехов заключены в методе по креплению дополнительных элементов, когда другие способы не могут быть применены по определенным причинам [175]. Данные методы нашли достаточно широкое внедрение в практике эксплуатации лемехов в производственных условиях. К этому привело: дефицит финансовых средств, удаленность ряда сельскохозяйственных предприятий от баз материально-технического снабжения; простота технологии; возможность использования вторичных ресурсов – элементы изготавливаются из утративших ресурс листов рессор; приемлемая наработка. В тоже время в литературных источниках сведений о методе дополнительных элементов не достаточно.

Метод можно разделить на два технологических приема (варианта): первый – приварка элемента вдоль полевого обреза; второй – приварка элемента параллельно лезвию лемеха.

Применение технологии по первому варианту производится (рисунок 1.28, а), когда имеется износ полевого обреза по торцу, а износ носка лемеха не превышает 45 мм.

В большинстве случаев, когда в области полевого обреза имеется лучевидный износ, требуется его предварительная заплата. После чего к изношенному лемеху при помощи электродуговой сварки приваривается стальная пластина, длина которой соответствует длине области полевого обреза лемеха в состоянии поставки. Приварку проводят таким образом, чтобы верхняя грань пластины совпадала с верхней гранью лемеха, а правая сторона располагалась по контуру полевого обреза серийного, используемого как шаблон, лемеха. Приварка производится по контуру дополнительного элемента. Для исключения поводки перед сваркой дополнительный элемент должен быть прижат к плоскости, например, струбцинами.

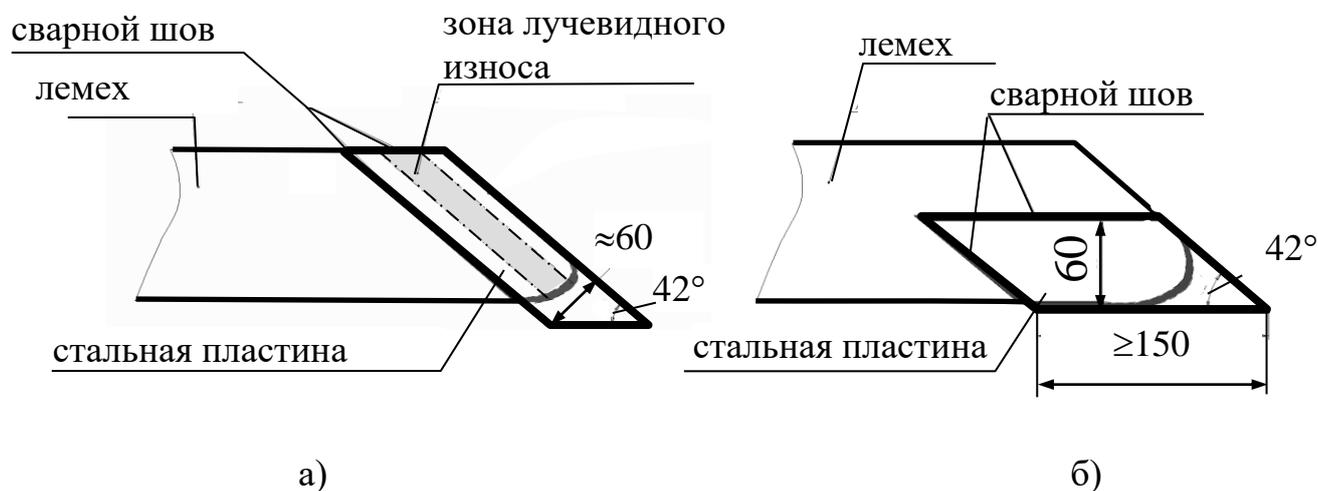


Рисунок 1.28 – Схема приварки дополнительных элементов

В случае износа носка лемеха более 75 мм и предварительного использования «магазина» можно восстановить деталь приваркой дополнительного элемента по второму варианту (рисунок 1.5, б). В этом случае приварку элемента следует производить параллельно лезвию лемеха.

Длина дополнительного элемента – не превышает 150 мм, а ширина 60 мм, угол между гранями соответствует углу наклона полевого обреза лемеха к

горизонтальной плоскости – 42° . Крепление его предполагается при помощи электросварки так, чтобы передняя грань стальной пластины совпадала своим продолжением с контуром лемеха, а нижняя его грань выступала за лезвие на 15-20 мм. Как и в первом варианте, при реализации технологии рекомендуется использовать серийный лемех в качестве шаблона [175].

Лемеха, восстановленные этим способом, увеличивают тяговое сопротивление пахотного агрегата, расхода топлива. Так как основные сведения по этому способу взяты из практического опыта, то ряд моментов остаются открытыми: геометрические размеры элементов, влияние способа на проявление дефектов в процессе пахоты (в особенности изгибов).

3.3 МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ, ПОЗВОЛЯЮЩИЕ УСТРАНИТЬ ТРИ И БОЛЕЕ ДЕФЕКТОВ

При эксплуатации лемехов на почвах, имеющих большую изнашивающую способность возможно образование трех и более дефектов. Как уже отмечалось, существующие способы восстановления любого сочетания дефектов, кроме износа по толщине, когда толщина тела лемеха менее 5 мм, что является выбраковочным признаком.

3.3.1 ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЛЕМЕХОВ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ПРИВАРКОЙ СТАЛЬНОЙ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ ЛЕНТЫ

При контактной сварке (шовной или точечной) вместо одного из двух свариваемых друг с другом элементов конструкции используется слой металлического порошка. Под действием давления медного электрода и пропускаемого через данную систему электрического тока происходит сварка в результате термодиффузии и (если необходимо) частичного оплавления. Аналогичным образом производится и электроконтактная приварка стальной высокоуглеродистой ленты к поверхности детали.

При практическом использовании процесса электроконтактной приварки (ЭКП) для достижения оптимальных свойств наносимого слоя температура

нагрева частиц порошка должна составлять 0,6...0,9 от температуры плавления [176, 177]. В работе [178] предложено использовать при восстановлении лемехов ЭКП узкий ролик, применение которого позволяет наносить покрытия на поверхности деталей, практически неограниченной длины, ширина наносимого слоя за один проход может составлять 3,0...4,0 мм. Износостойкость таких деталей, восстановленных порошками ФБХ-6-2, КБХ, в 3,3–3,6 раза выше, чем у новых, при этом их усталостная прочность снижается всего на 11 %.

Указанная технология не находит широкого применения при восстановлении рабочих органов почвообрабатывающих машин из-за сложности и дороговизны процесса.

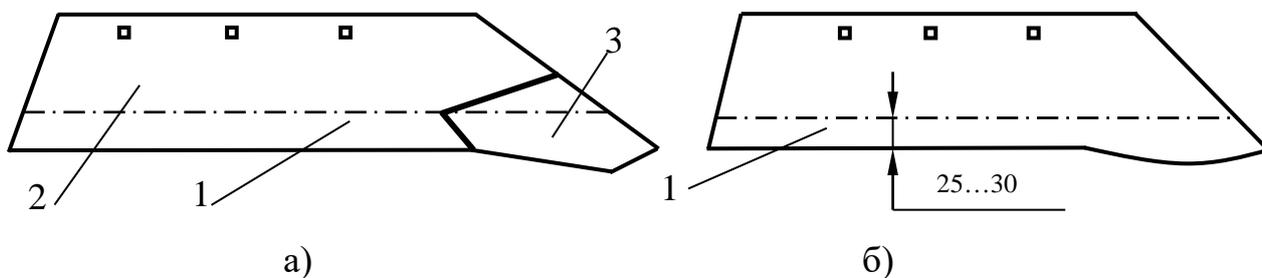
3.3.2 НАРАЩИВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ НАПЛАВКОЙ, С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ

Изношенные самозатачивающиеся, а также обычные лемеха для повышения долговечности можно наплавить твердым сплавом. Технология наплавки включает в себя операции приварки износившейся части, оттяжки, наплавки, заточки лезвия лемеха. Оттягивают лемеха кузнечным способом в последовательности: сначала носок, а затем прямолинейную часть лезвия. В результате вдоль тела лемеха образуется канавка шириной 25...30 мм и глубиной 1,5...2 мм. Канавку очищают на точиле до удаления ржавчины и окалины. Оттянутые лемеха контролируют шаблоном.

Лемеха наплавляют прутком из твердого сплава «Сормайт-1» при прямом его нагреве восстановительным пламенем и порошками типа ПГ-СР. В качестве флюса применяют обезвоженную буру.

В ремонтных мастерских восстанавливают изношенные режущие части лемехов или наплавляют новым твердым сплавом, обеспечивая самозатачивание лезвия. В качестве твердых сплавов используют ПГ-СР, «Сормайт-1», УС-25, смешивая их с флюсами [179, 180].

С целью увеличения срока службы возможно нанесение твердых сплавов на лемех по двум вариантам: первый – приварка стальной накладки на износившийся носок с последующей наплавкой ее и лезвия твердым сплавом (рисунок 1.29, а), второй – после промежуточной эксплуатации – оттяжка износившейся прямолинейной части лезвия режущих органов с последующей ее наплавкой твердым сплавом (рисунок 1.29, б) [181].



1 – наплавленный слой; 2 – лемех; 3 – накладка носка лемеха

Рисунок 1.29 – Технология восстановления лемеха наращиванием поверхности: а) – приварка накладки с последующей упрочняющей наплавкой; б) оттяжка с последующей упрочняющей наплавкой

Восстановленные таким методом лемеха имеют низкую стойкость в условиях ударного воздействия, меньшую жесткость и износостойкость, кроме того, сложно в процессе эксплуатации производить оттяжку, увеличиваются затраты времени на снятие и установку детали, возникают термические деформации и, как следствие, нарушение геометрических параметров лемеха.

3.3.3 ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЛЕМЕХА СПОСОБОМ ВСТАВОК

Способами вставок восстанавливают изношенную геометрию лемехов.

ГОСНИТИ разработал технологию восстановления лемехов марки П702Б способом замены изношенных частей приваркой вставок. Для изготовления вставок выпускается клиновой прокат ремонтных профилей 30Р, 85Р (ГОСТ 7531–78) и 50Р (ТУ 84–354–72) [153].

Лемеха, подлежащие восстановлению, загружают в печь, где их отжигают при температуре 860° С. Нагретые лемеха правят на фрикционных прессах с усилием не менее 1600 кН и одновременно обрубает изношенные части в 2 – ручьевом штампе Ш–1668–00–ГОСНИТИ. Лезвие обрубается на расстоянии 90 мм от спинки лемеха параллельно ей, а носок под углом. Зенкуют отверстия на вертикально – сверлильном станке. Вставки носка изготавливают из клинового проката ремонтного профиля 85Р на кривошипном прессе с усилием в 600 кН. Вставки лезвия выполнены из клинового проката ремонтного профиля Р30 на пресс – ножницах Н5222А. Лезвие приваривают к остову сварочным аппаратом тракторного типа под слоем флюса с тыльной стороны лемеха, а носок полуавтоматом в углекислом газе с обеих сторон (рисунок 1.30, а).

Далее лемех наплавляют твердосплавными порошками на высокочастотных установках с тыльной стороны лезвия.

Наплавленный лемех после остывания затачивают на обдирочно шлифовальных станках. В лемехах, изношенных по толщине, зенкуют отверстия под крепежные болты.

Лемеха, восстановленные способом приварки вставок вместо изношенных частей, имеют низкую твердость, меньшую толщину по сравнению с новыми, вследствие чего, имеют значительно меньшую жесткость и износостойкость. С целью сохранения жесткости восстановленного лемеха необходимо с тыльной его стороны на носовой части приварить пленку размерами 15x20x40 мм вместо ребра жесткости, которое при восстановлении нарушается. Кроме этого, лицевую сторону лемеха необходимо закалить, за счет чего увеличивается жесткость лемеха и его износостойкость.

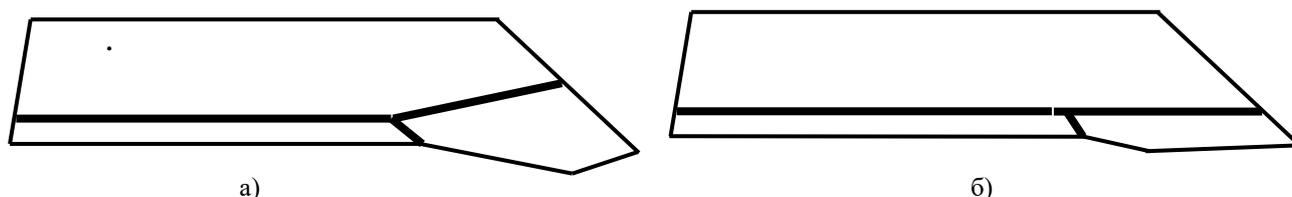


Рисунок 1.30 – Варианты восстановления плужных лемехов ремонтными вставками: а) – по технологии ГОСНИТИ; б) – по технологии ЧИМЭСХ

Для сохранения прочности лемеха Челябинский институт механизации и электрификации сельского хозяйства (ЧИМЭСХ) предложил делать носок меньшего размера из клинового проката ремонтного профиля 50Р и обрубать лемех по прямой на всю длину (рисунок 1.7, б). Это позволило упростить штампы для правки и обрубки лемеха и вырубки вставки носков, а также процесс его сварки. Но по этой технологии возможно восстановление меньшего числа лемехов.

Однако метод приварки вставок имеет недостатки: носовая часть лемеха ослабляется; во время работы, особенно в тяжелых условиях, лемеха гнутся, геометрические параметры восстановленного лемеха несколько отличаются от нового; восстановленные лемеха могут использоваться только на глинистых и суглинистых почвах. Это связано с тем, что после отжига тело лемеха имеет твердость НВ 1500...1700 вместо НВ 3000 согласно техническим условиям.

Износ лемеха компенсируют накладные элементы, с последующим его удалением путем отсекаания носовой части и его прямолинейного участка на ширину 25 мм. Далее производится двухсторонняя приварка накладных элементов носка и лезвия. При этом накладной носок подвергают горячей формовке, копируя лицевую часть изношенной заготовки, при этом наплавку накладного носка производят сверху по вогнутой поверхности на ширину 60...80 мм и толщиной 2,0...2,5 мм, а лезвие снизу шириной 20 мм слоем 1,5...2,0 мм. Кроме того, приваривают накладной носок к корпусу лемеха на 24 мм ниже его прямолинейного участка для обеспечения формы.

При эксплуатации на почвах с низкой влажностью – засушливые районы, из-за высоких удельных давлений наблюдается интенсивный износ основного металла, значительно опережающий износ наплавленного слоя, что ускоряло износ носка. Поэтому изготавливали накладной носок: нагревали носок ТВЧ до 900° С, затем подвергали формовке по шаблону, придавая вогнутость с радиусом 400 мм.

Недостаток способа является то, что при достаточно сложном нагружении лемеха, он быстро выйдет из строя при таком способе восстановления.

ЦОКТЬ ГОСНИТИ для восстановления лемехов разработана технология,

которая включает операции по приварке к остову детали наплавленных твердым сплавом режущих частей (лезвия и носка) (рисунок 1.31, а).

Технологические процессы восстановления лемехов плугов без отжига позволяют восстанавливать в два раза больше, чем по технологии ЧИМЭСХ.

Экономически выгоден технологический процесс восстановления с использованием аппаратов для воздушно – плазменной резки (обрезка изношенных частей лемеха) и сварочных аппаратов (сварка остова со вставками сварочной проволокой в среде углекислого газа), так как он позволяет восстанавливать лемеха различных марок с любым износом. Применение указанного оборудования позволяет восстанавливать лемеха различных марок с любым износом автоматизировано, используя при этом, промышленные роботы, автоматические манипуляторы.

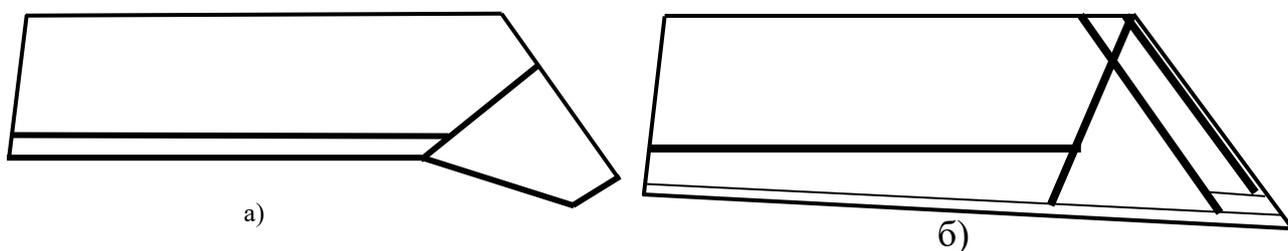


Рисунок 1.9 – Варианты восстановления плужных лемехов ремонтными вставками по технологиям: а) ЦОКТБ ГОСНИТИ; б) – МГАУ им. В.П.Горячкина

НПО «Ремдеталь» разработан технический процесс восстановления лемехов, включающих операции правка погнутых лемехов на гидропрессе П-6328 и штампе; обрезка изношенных частей аппаратами для воздушно-плазменной резки; зенковка отверстий многошпиндельной установкой; приварка к остову носка и лезвия только с тыльной стороны лемеха сварочными автоматами; наплавка лемехов индукционным способом.

Сложность указанных процессов, необходимость наличия специального оборудования, а так же увеличение тягового сопротивления плуга при эксплуатации таких лемехов – не позволяет этой технологии широко использоваться в ремонтных мастерских сельских товаропроизводителей.

ВЫВОДЫ

1. Особенностью эксплуатации плужных лемехов является воздействие многочисленных факторов, определяющих их работоспособность : статические, ударные, усталостные нагружения; случайные обстоятельства, абразивное изнашивание.

2. Преобладающим фактором, ограничивающим ресурс, считается абразивное изнашивание.

3. Характер износа: его форма месторасположение, величина обуславливается типом почвы – ее гранулометрическим составом.

4. Предельное состояние лемеха, в основном, определяется появлением износа носка (30 %), затылочной фаски (50 %) и образованием лучевидного износа (84 %).

5. Существующие способы восстановления применимы для устранения отдельных дефектов, при этом достаточно сложны технологически, не решают задачи по повышению наработки на отказ и в ряде случаев способствуют появлению трещин и разрушений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Износ деталей сельскохозяйственных машин [Текст] / М.М. Севернев, Г.П. Каплун, В.А. Короткевич [и др.]; под ред. М.М. Севернева. Л.: Колос, 1972. 288 с.
- 2 Ткачев В.Н. Износ и повышение долговечности деталей сельскохозяйственных машин [Текст]. М.: Машиностроение, 1971. 264 с.
- 3 Костецкий Б.И. Износостойкость деталей машин [Текст]. Киев: Техника, 1975. 405 с.
- 4 Хрущев М.М., Бабичев М.А. Абразивное изнашивание [Текст]. М.: Наука, 1970. 252 с.
- 5 Хрущев М.М., Бабичев М.А. Износостойкость и структура твердых наплавов [Текст]. М.: Машиностроение, 1971. 96 с.
- 6 Тененбаум М.М. Сопротивление абразивному изнашиванию [Текст]. М.: Машиностроение, 1978. 271 с.
- 7 Войнов Б.А. Износостойкие сплавы и покрытия [Текст]. М.: Машиностроение, 1980. 120 с.
- 8 Розенбаум А.Н. Исследование износостойкости сталей для режущих органов почвообрабатывающих машин [Текст] // Труды ВИСХОМ, 1969. Вып. 53. С. 3-123.
- 9 Воробьев Г.Т. Почвы Брянской области [Текст]. Брянск: Грани, 1993. 160 с.
- 10 Цытович Н.А. Методика грунтов [Текст]. М.: Высшая школа, 1973. 280 с.
- 11 Бахтин П.У. Физико-механические и технологические свойства почв [Текст]. М.: Знание, 1971. 74 с.
- 12 Почвоведение [Текст]: учебник для вузов / В.Г. Мамонтов, Н.П. Панов, Е.Н. Кауричев, Н.С. Игнатьев. М.: КолосС, 2006. 456 с.
- 13 Антыков Н.Т. Почвы Брянской области и условия их образования [Текст]. Брянск: Брянский рабочий, 1958. 164 с.
- 14 Васильев С.П., Ермолов Л.С. Об изнашивающей способности почв [Текст] // Повышение долговечности рабочих деталей почвообрабатывающих машин / под ред. М.М. Хрущева. М.: Машгиз, 1960. 141 с.
- 15 Михальченков А.М., Тюрева А.А., Паршиков П.А. Повышение износостойкости плужных лемехов упрочнением наиболее вероятных зон износа [Текст] // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения: сборник научных работ. Брянск: Брянская ГСХА, 2006. С. 234-239.
- 16 Огрызков Е.П. Влияние физико-механических свойств почв на их изнашивающую способность [Текст] // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1969. № 7. С. 35-41.
- 17 Бернштейн Д.Б., Лискин И.В. Лемехи плугов. Анализ конструкций, условий изнашивания и применяемых материалов [Текст] // Сельскохозяйственные машины и орудия: обзорн. информ. Сер. 2. М.: ЦНИИТЭИтракторосельхозмаш, 1992. 35 с.
- 18 Повышение долговечности рабочих деталей почвообрабатывающих машин [Текст] / под ред. М.М. Хрущева. М.: Машгиз, 1960. 141 с.
- 19 Аронов Э.Л. Повышение долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин [Текст] // Ремонт и техническое обслуживание машинно-тракторного парка. М.: ЦНИИТЭИ, 1970. 58 с.
- 20 Некрасов С.С., Приходько И.А., Баграмов Л.Г. Технология сельскохозяй-

ственного машиностроения [Текст]: учеб. пособие. М.: КолосС, 2004. 360 с.

21 Карпенко А.Н., Халанский В.М. Сельскохозяйственные машины [Текст]: учеб. пособие. М.: Колос, 1983. 495 с.

22 Комаристов В.Е., Дунай Н.Ф. Сельскохозяйственные машины [Текст]: учеб. пособие. М.: Колос, 1977. 496 с.

23 Михальченков А.М., Попов А.П. Изменение геометрических параметров лемехов после их эксплуатации на супесчаных почвах [Текст] // Достижение науки и техники в АПК. 2003. № 8. С. 26-28.

24 Орлов Б. Н. Прогнозирование долговечности рабочих органов мелиоративных почвообрабатывающих машин [Текст]: дис. ... док. техн. наук. М., 2004. 348 с.

25 Каракозов Э.С., Латыпов Р.А. Восстановление деталей с использованием прогрессивных технологий [Текст] // Новости науки и техники. Новые материалы, технологии их производства и обработки. М.: ВИНТИ, 1989. 44 с.

26 Канков Т.Е., В.Г. Кирюхин Основные направления по повышению надежности лемехов и отвалов [Текст] // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1986. № 9. С. 12-14.

27 Материаловедческое направление повышения надежности рабочих органов плуга [Текст] / В.С. Новиков, И.А. Азаркин, Д.А. Сабуркин [и др.] // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. 2007. № 3. С. 132-137.

28 Конструкционные материалы [Текст]: справочное издание / под ред. Б.Н. Арзамасова. М.: Машиностроение, 1990. 688 с.

29 Материаловедение [Текст]: учебник для вузов / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин [и др.]; под общ. ред. Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина. М.: Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана, 2002. 648 с.

30 Богачев И.Н., Журавлев Л.Г. Исследование износостойкости сталей при абразивном изнашивании [Текст] // Повышение износостойкости и срока службы машин. Киев: Изд-во АН УССР, 1960. С. 92-101.

31 Бернштейн Д. Б. Абразивное изнашивание лемешного лезвия и работоспособность плуга [Текст] // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2002. № 6. С. 39.

32 Пат. 2207386 Российской Федерации. Способ изготовления лемехов [Текст] / Пороздняков С.Н.; опубл. в 2003, Бюл. № 5.

33 Карягин В.А. Применение высокопрочного чугуна для изготовления лемехов плугов общего назначения [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Саратов, 1995. 18 с.

34 Рабинович А.Ш. Самозатачивающиеся плужные лемехи и другие почворежущие детали машин [Текст]. М.: ГОСНИТИ, 1962. 106 с.

35 Сильман Г.И., Малахов А.С., Жаворонков Ю.В. Получение и использование литого инструмента [Текст] / под ред. Г.И. Сильмана // Материаловедение и производство: сборник науч. трудов. Брянск: Изд-во БГИТА, 2000. С. 226-229.

36 Морозов С.В. Повышение износостойкости и долговечности литых деталей и инструмента за счет использования новых легированных Fe-C сплавов [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Брянск, 2003. 16 с.

37 Тешаев С.Н. Исследование абразивной износостойкости полевых досок, пя-

ток и лемехов тракторных плугов из аустенитных маргонцовистых чугунов [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Л., 1966. 16 с.

38 Mock. John A. Put on a hard fase to figth wear, cut costs. «Mater Eng». 1969. № 1. P. 56-57.

39 Ермаков И.Н. Самозатачивающиеся чугунные лемехи [Текст] // Повышение износостойкости лемехов. М.: Машгиз, 1956. С. 27-31.

40 Токушев Ж.Е. Разработка двухслойных самозатачивающихся рабочих органов [Текст] // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2003. № 11. С. 17.

41 Сидоров С.А. Преимущества двойной заточки двухслойного наплавленного лезвия [Текст] // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1998. № 10. С. 42.

42 Ниловский И.П. Опыт ремонта лемехов и других деталей сельскохозяйственных машин сварочными методами [Текст] // Труды ГОСНИТИ. 1969. Т. 19. С. 148-151.

43 Ткачев В.Н., Коган И.Л. Повышение долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин контактной приваркой легированных лент [Текст] // Сварочное производство. 1969. № 2. С. 37-38.

44 Рабинович А.Ш. Стойкость и самозатачиваемость плужных лемехов и других режущих деталей сельскохозяйственных машин [Текст] // Труды ГОСНИТИ. 1967. Т. 19. С. 136-142.

45 Батищев А.Н., Голубев И.Г., Лялякин В.П. Восстановление деталей сельскохозяйственной техники [Текст]. М.: Информагротех, 1995. 296 с.

46 Бернштейн Д.Б. Повышение срока службы плужных лемехов [Текст] // Тракторы и с.-х. машины. 1998. № 7. С. 30-33.

47 Войнов Б.А. Износостойкие сплавы и покрытия [Текст]. М.: Машиностроение, 1980. 120 с.

48 Казинцев Н.В. Повышение долговечности плужных лемехов [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Рн/Д, 1970. 15 с.

49 Некоторые причины повышенного изнашивания плужных лемехов [Текст] / А.М. Михальченков, А.А. Тюрева, И.В. Козарез [и др.] // Достижение науки и техники в АПК. 2007. № 8. С. 43-45.

50 Металловедение и термическая обработка стали [Текст]: в 3-х т. Т. 3. Термическая обработка металлопродукции: справочник / под. ред. М.Л. Бернштейна, А.Г. Рахштадта. М.: Металлургия, 1983. 216 с.

51 Огрызков Е.П. Работоспособность плужных лемехов [Текст] // Сельхозмашиностроение. М.: НИИНавтопром, 1967. 22 с.

52 Огрызков Е.П., Огрызков В.Е. Преимущества симметричного оборотного лемеха и основы его конструирования [Текст] // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1977. № 2. С. 9-11.

53 Прокопцев П.И. Предпосылки повышения ресурса плужных лемехов [Текст] // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1998. № 10. С. 41-42.

54 Афонин Е.Д. Исследование работоспособности плужных лемехов в условиях Юго-Востока СССР [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Саратов, 1966. 16 с.

55 Швейкин А.П. Исследование способов снижения энергозатрат на пахоте в условиях Юго-Востока РСФСР [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Саратов,

1965. 16 с.

56 Федюнина Т.В. Совершенствование технологии основной обработки почвы с обоснованием параметров лемеха с прерывистым лезвием [Текст]: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Саратов, 2001. 19 с

57 Виноградов В.И. Исследование работы зубчатых лемехов [Текст] // Повышение долговечности рабочих деталей почвообрабатывающих машин. М.: ЦНИИТЭИ, 1960. 36 с.

58 Упрочнение самозатачивающихся лемехов [Текст] / В. Новиков, П. Чирков, М. Андреев, В. Ганцев // Техника в сельском хозяйстве. 1970. № 7. С. 23-24.

59 Зубов Н.И., Волобуев В.А. Обоснование рационального срока службы рабочих органов пахотных агрегатов [Текст] // Результаты испытаний и исследований сельскохозяйственных технологий и машин: сборник трудов. Новокубанск: РосНИИ-ТиМ, 2002. С. 40-51.

60 Шитов А.Н., Байкалова В.Н. Упрочнение лезвий лемехов электроконтактной обработкой [Текст] // Вестник ФГОУ ВПО Московский Государственный университет им. В.П. Горячкина. 2004. № 1 (6). С. 75-77.

61 Балан В.П., Клюенко В.Н., Олисеенко В.И. Точечное упрочнение рабочих органов почвообрабатывающих машин [Текст] // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1991. № 2. С. 44-45.

62 Новиков В.С., Беликов И.А. Повышение износостойкости рабочих органов плуга наплавкой керамическими материалами [Текст] // Ремонт, восстановление, модернизация. 2002. № 11. С. 37-40.

63 Пат. 2142213 Российской Федерации. Лемех Лискина [Текст]; опубл. в 1999, Бюл. № 41.

64 Пат. 2027331 Российской Федерации. Плужный трапецевидный лемех и способ его изготовления [Текст] / Д.Б. Бернштейн, И.В. Лискин, Д.Л. Курцев, М.М. Фирсов, А.А. Завражнов; опубл. в 1995, Бюл. № 1.

65 Пат. 2127501 Российской Федерации. Плужный лемех [Текст] / В.М. Бойков, А.Н. Беднов, С.В. Старцев, А.Е. Глинский, А.А. Самойлов, С.Д. Харитонов; опубл. в 1999, Бюл. № 5.

66 Тип М.Ю. Повышение износостойкости рабочих органов с/х машин [Текст]: Обзорная информация. М.: ЦНИИТЭИ тракторсельхозмаш, 1986. 35 с.

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

68 Джураев А.Ж., Нуриев К.К., Элибоев А. Совершенствование формы лезвий для глубокой обработки почвы [Текст] // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2003. № 8. С. 38.

69 Сидоров С.А. Критерии целесообразности использования в сельхозмашинах упрочненных рабочих органов [Текст] // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1998. № 11. С. 54-56.

70 Упрочнение почворезущих деталей [Текст] / А.П. Бочаров, В.А. Сероватов, В.А. Кириевский [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1989. № 3. С. 47.

71 Новое направление повышения долговечности рабочих органов почвообра-

батывающих машин – применение технической керамики [Текст] / М.Н. Ерохин, В.С. Новиков, А.А. Сопко [и др.] // Технология и средства технического сервиса машин в агропромышленном комплексе. М.: МГАУ им. В.П. Горячкина, 2000. С. 38-47.

72 Бахмудкадиев И.Д. Технология упрочнения дисковых рабочих органов сельскохозяйственных машин электроконтактной приваркой [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1998. 20 с.

73 Бетенья Г.Ф. Повышение долговечности почворезущих элементов сельскохозяйственной техники наплавкой намораживанием [Текст]. Минск: БелНИИНТИ, 1986. 44 с.

74 Бернштейн Д.Б., Лискин И.В. Износостойкость лемехов, зонально-упрочненных твердыми сплавами [Текст] // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1988. № 9. С. 23-24.

75 Сварка и свариваемые материалы [Текст]: в 3-х т. Т. 1. Свариваемость материалов: справочное издание / под ред. Э.Л. Макарова. М.: Металлургия, 1991. 528 с.

76 Moore M.A. The abrasive wear resistans of surface coatings // Agricultural Engineering Research. 1967. Vol. 12. P. 216-231.

77 Восстановление и упрочнение режущей кромки лемеха пайкой металлокерамических пластин [Текст] / В.В. Гончаренко, А.В. Фербяков, Ю.А. Кузнецов [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2006. № 11. С. 21-22.

78 Беликов И.А. Повышение долговечности рабочих органов плуга керамическими материалами [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2002. 16 с.

79 Кисель Ю.Е. Повышение износостойкости быстроизнашиваемых деталей сельскохозяйственной техники композиционными электрохимическими покрытиями на основе сплавов железа [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2002. 18 с.

80 Versachleissfest Uberzugsschichtent Antriebstechnik. Sonderh: Zurich, 1969. 24 p.

81 Пат. 2184639 Российской Федерации. Способ наплавки износостойких покрытий [Текст] / Стребков С.В., Булавин С.А., Макаренко А.Н., Горбатов С.А.; опубли. 2004, Бюл. № 7.

82 Михальченков А.М., Капошко Д.А. Повышение ресурса плужных корпусов сварочным армированием [Текст] // Ремонт, восстановление, модернизация. 2005. № 7. С. 20-24.

83 Пат. 2274526 Российской Федерации. Способ упрочнения лемехов плугов из среднеуглеродистых и высокоуглеродистых сталей [Текст] / Михальченков А.М., Ганеев Ю.М., Будко С.И., Капошко Д.А.; опубли. в 2004, Бюлл. № 11.

84 Капошко Д.А. Термоупрочнение поверхности плужных лемехов методом шаговой наплавки с применением электродов для сварки углеродистых сталей [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук СПб.: Пушкин, 2007. 18 с.

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

86 Пат. 2270259 Российской Федерации. Способ упрочнения деталей из среднеуглеродистых и низкоуглеродистых сталей [Текст] / Михальченков А.М., Ганеев Ю.М., Лямзин А.А., Будко С.И., Капошко Д.А.; опубли. 2006, Бюл. № 5.

-
- 87 Михальченков А.М., Попов А.П. Упрочнение пластическим деформированием поверхностей рабочих органов сельскохозяйственных машин [Текст] // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения: сборник научных работ. Брянск: Брянская ГСХА, 2006. С. 218-221.
- 88 Износ деталей сельскохозяйственных машин [Текст] / М.М. Севернев, Г.П. Каплун, В.А. Короткевич [и др.]; под ред. М.М. Севернева. Л.: Колос, 1972. 288 с.
- 89 Огрызков Е.П. Агротехнические основы работоспособности лемеха плуга [Текст]: дис. ... д-ра с.-х. наук. Омск, 1969. 392 с.
- 90 Орлов Б.Н. Прогнозирование долговечности рабочих органов мелиоративных почвообрабатывающих машин [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук. М., 2004. 348 с.
- 91 Костецкий Б.И. Износостойкость деталей машин [Текст]. Киев: Техника, 1975. 405 с.
- 92 Сидоров С.А. Технический уровень и ресурс рабочих органов сельскохозяйственных машин [Текст] // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1998. № 3. С. 29.
- 93 Бернштейн Д.Б., Лискин И.В. Лемехи плугов. Анализ конструкций, условий изнашивания и применяемых материалов [Текст] // Сельскохозяйственные машины и орудия: обзорная информация. Сер. 2. М.: ЦНИИТЭИтракторосельхозмаш, 1992. 35 с.
- 94 Кленин Н.И., Егоров В.Е. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины [Текст]: учеб. пособие. М.: КолосС, 2004. 464 с.
- 95 Михальченков А.М., Попов А.П. Изменение геометрических параметров лемехов после их эксплуатации на супесчаных почвах [Текст] // Достижение науки и техники в АПК. 2003. № 8. С. 26-28.
- 96 Виноградов В.Н., Сорокин Г.М. Механическое изнашивание сталей и сплавов [Текст]. М.: Недра, 1996. 361 с.
- 97 Пинегин С.В. Контактная прочность в машинах [Текст]. М.: Машиностроение, 1965. 246 с.
- 98 Драйгор Д.А. Влияние условий трения на предел усталости стали [Текст] // Исследование в области металловедения и контактной прочности металлов. Киев: Машгиз, 1958. С. 26-32.
- 99 Крагельский И.А. Трение и износ [Текст]. М.: Машиностроение, 1968. 480 с.
- 100 Хрущев М.М., Бабичев М.А. Абразивное изнашивание [Текст]. М.: Наука, 1970. 252 с.
- 101 Гаркунов Д.Н., Колесников В.И., Челохьян А.В. Влияние коррозионноактивных сред на процесс абразивного изнашивания [Текст] // Трение и износ. 1983. Т. 4, № 5. С. 773-778.
- 102 Сельскохозяйственные машины и оборудование [Текст]: энциклопедия / под ред. И.П. Ксеновича. Т. IV. М.: Машиностроение, 1998. 720 с.
- 103 Ткачев В.Н. Износ и повышение долговечности деталей сельскохозяйственных машин [Текст]. М.: Машиностроение, 1971. 264 с.
- 104 Тененбаум М.М. Соппротивление абразивному изнашиванию [Текст]. М.: Машиностроение, 1978. 271 с.

105 Каплун Г.П. Исследование влияния свойств почв на долговечность деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин [Текст]. Минск: Изд-во Академии с.-х. наук БССР, 1960. 120 с.

106 Севернев М.М. Определение сроков службы деталей машин при абразивном износе [Текст] // Труды БИМСХ. Минск, 1961. 40 с.

107 Сидоров С.А. Повышение долговечности и работоспособности рабочих органов почвообрабатывающих машин и орудий [Текст]: дис. д-ра техн. наук. М., 2007. 392 с.

108 Воробьев Г.Т. Почвы Брянской области [Текст]. Брянск: Грани, 1993. 160 с.

109 Сидоров С.А. Критерии целесообразности использования в сельхоз машинах упроченных рабочих органов [Текст] // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1998. № 11. С. 54-56.

110 Каплун Г.П. Исследование влияния свойств почв на долговечность деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин [Текст]. Минск: Изд-во Академии с.-х. наук БССР. 1960. 120 с.

111 Васильев С.П. К вопросу об износе режущих органов почвообрабатывающих машин [Текст] // Научные записки Харьковского института механизации сельского хозяйства. Вып. 8, Т. I. Харьков, 1958. 360 с.

112 Васильев С.П., Ермолов Л.С. Об изнашивающей способности почв [Текст] / под ред. М.М. Хрущева // Повышение долговечности рабочих деталей почвообрабатывающих машин. М.: Машгиз, 1960. 141 с.

113 Маяускас И.С. Влияние давления почвы на износ рабочих органов почвообрабатывающих машин [Текст] // Вестник машиностроения. 1958. № 10. С. 18–32.

114 Шитов А.Н. Повышение долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин с применением импульсного электроконтактного нагрева (на примере лемеха плуга) [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2005. 18 с.

115 Горячкин В.П. Собрание сочинений в трех томах [Текст]. М.: Колос, 1965.

116 Синеоков Г.Н. Проектирование почвообрабатывающих машин [Текст]. М.: Машиностроение, 1965. 311 с.

117 Синеоков Г.Н., Панов И.М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин [Текст]. М.: Машиностроение, 1977. 328 с.

118 Рабинович А.Ш. Самозатачивающиеся плужные лемехи и другие почво-режущие детали машин [Текст]. М.: ГОСНИТИ, 1962. 106 с.

119 Некоторые причины повышенного изнашивания плужных лемехов [Текст] / А.М. Михальченков, А.А. Тюрева, И.В. Козарез [и др.] // Достижение науки и техники в АПК. 2007. № 8. С. 43-45.

120 Кленин Н.И., Сакун В.А. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины: Элементы теории рабочих процессов, расчет регулировочных параметров и режимов работы [Текст]: учеб. пособие. М.: Колос, 1980. 495 с.

121 Карпенко А.Н., Халанский В.М. Сельскохозяйственные машины [Текст]: учеб. пособие. М.: Колос, 1983. 495 с.

122 Огрызков Е.П. Влияние физико-механических свойств почв на их изнаши-

вающую способность [Текст] // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1969. № 7. С. 35-41.

123 Пронин А.Ф., Ларин Г.И., Быков В.Ф. Износ лемехов и показатели пахоты [Текст] // Техника в сельском хозяйстве. 1977. № 4. С. 25–26.

124 Бернштейн Д.Б. Абразивное изнашивание лемешного лезвия и работоспособность плуга [Текст] // Тракторы и с.-х. машины. 2002. № 6. С. 39-42.

125 Бернштейн Д.Б. Повышение срока службы плужных лемехов [Текст] // Тракторы и с.-х. машины. 1998. № 7. С. 30-33.

126 Винокуров В.Н., Малахов А.К. Результаты исследования динамики изнашивания плужных лемехов [Текст] // Тракторы и с.-х. машины. 1980. № 9. С. 28-32.

127 Михальченков А.М., Попов А.П. Изменение геометрических параметров лемехов после их эксплуатации на супесчаных почвах [Текст] // Достижение науки и техники в АПК. 2003. № 8. С. 26-28.

128 Михальченков А.М., Кожухова Н.Ю., Будко С.И. О критериях предельного состояния плужных лемехов, эксплуатируемых на почвах юго-западного региона России [Текст] // Достижение науки и техники в АПК. 2008. № 1. С. 43-46.

129 Рабинович А.Ш., Сальников В.А. Опыт внедрения самозатачивающихся плужных лемехов [Текст] // Техника в сельском хозяйстве. 1961. № 1. С. 27-30.

130 Тюрева А.А. Повышение долговечности плужных лемехов наплавленным армированием в условиях песчаных и супесчаных почв [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2008. 18 с.

131 Буренко Л.А., Винокуров В.Н. Ремонт сельскохозяйственных машин [Текст]. М.: Россельхозиздат, 1981. 189 с.

132 Износ деталей сельскохозяйственных машин [Текст] / М.М. Севернев, Г.П. Каплун, В.А. Короткевич [и др.]; под ред. М.М. Севернева. Л.: Колос, 1972. 288 с.

133 Михальченков А.М., Тюрева А.А., Паршиков П.А. Повышение износостойкости плужных лемехов упрочнением наиболее вероятных зон износа [Текст] // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения: сборник научных работ. Брянск: Брянская ГСХА, 2006. С. 234-239.

134 Технология ремонта машин [Текст] / Е.А. Пучин, В.С. Новиков, Н.А. Очковский [и др.]; под ред. Е.А. Пучина. М.: КолосС, 2007. 488 с.

135 Методика установления предельных состояний рабочих органов почвообрабатывающих машин [Текст] / М.М. Тененбаум, С.М. Кауфман и др. М.: ВИСХОМ, 1985. 33 с.

136 О критериях предельного состояния плужных лемехов, эксплуатируемых на почвах юго-западного региона России [Текст] / А.М. Михальченков, Н.Ю. Кожухова, С.И. Будко // Достижение науки и техники в АПК. 2008. № 1. С. 43-46.

137 Воробьев Г.Т. Почвы Брянской области [Текст]. Брянск: Грани, 1993. 160 с.

138 Михальченков А.М., Попов А.П. Изменение геометрических параметров лемехов после их эксплуатации на супесчаных почвах [Текст] // Достижение науки и техники в АПК. 2003. № 8. С. 26-28.

139 Решетов Д.Н., Иванов А.С., Фадеев В.З. Надежность машин [Текст]: учеб.

пособие / под ред. Д.Н. Решетова. М.: Высш. шк., 1988. 238 с.

140 Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика [Текст]: учеб. для вузов. М.: Высш. шк., 2003. 479 с.

142 Огрызков Е.П. Работоспособность плужных лемехов [Текст] // Сельхозмашиностроение. М.: НИИНавтопром, 1967. 22 с.

143 Тюрева А.А., Козарез И.В. Увеличение долговечности лемехов изменением конструкции [Текст] // Перспективные технологии и технические средства в АПК: сборник научных работ. Мичуринск: Изд-во Мичуринский ГАУ, 2008. С. 128-132.

144 Baldoni J.G. Ceramics for maching // Am. Ceram. Soc. Bul. 1988. Vol. 67, № 2. P. 381-387.

145 Ceramic facing for abrasive soil // Power Farming. 1984. Vol. 63, № 8. P. 117-119.

146 Применение керамических материалов для повышения надежности сельскохозяйственной техники [Текст] / М.Н. Ерохин, В.С. Новиков [и др.] // Известия Академии инженерных наук РФ. 2001. С. 38-47.

147 Тип М.Ю. Повышение износостойкости рабочих органов с/х машин [Текст]: обзорная информация. М.: ЦНИИТЭИ тракторсельхозмаш, 1986. 35 с.

148 Шитов А.Н., Байкалова В.Н. Упрочнение лезвий лемехов электроконтактной обработкой [Текст] // Вестник ФГОУ ВПО «Московский Государственный университет им. В.П. Горячкина». 2004. № 1(6). С. 75-77.

149 Балан В.П., Клюенко В.Н., Олисеенко В.И. Точечное упрочнение рабочих органов почвообрабатывающих машин [Текст] // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1991. № 2. С. 44-45.

150 Бетенья Г.Ф. Повышение долговечности почворезущих элементов сельскохозяйственной техники наплавкой намораживанием [Текст]. Минск: БелНИИНТИ, 1986. 44 с.

151 Бернштейн Д.Б., Лискин И.В. Износостойкость лемехов, зонально-упрочненных твердыми сплавами [Текст] // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1988. № 9. С. 23-24.

152 Пат. 2334384 Российской Федерации. Способ повышения износостойкости плужных лемехов [Текст] / Михальченков А.М., Тюрева А.А., Козарез И.В., Михальченкова М.А., опубл. 2008, Бюл. № 27.

153 Рекомендации по восстановлению лемехов плугов [Текст]. М.: ГОСНИТИ, 1986. 26 с.

154 Михальченков А.М., Козарез И.В., Будко С.И. Технологические приемы повышения ресурса лемехов [Текст] // Сельский механизатор. 2008. № 2. С. 39-41.

155 Канков Т.Е., Кирюхин В.Г. Основные направления по повышению надежности лемехов и отвалов [Текст] // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1986. № 9. С. 12-14.

156 Новиков В.С., Беликов И.А. Повышение износостойкости рабочих органов плуга наплавкой керамическими материалами [Текст] // Ремонт, восстановление, модернизация. 2002. № 11. С. 37-40.

-
- 157 Новое направление повышения долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин – применение технической керамики [Текст] / М.Н. Ерохин, В.С. Новиков, А.А. Сопко [и др.] // Технология и средства технического сервиса машин в агропромышленном комплексе. М.: МГАУ им. В.П. Горячкина, 2000. С. 38-47.
- 158 Беликов И.А. Повышение долговечности рабочих органов плуга керамическими материалами [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2002. 16 с.
- 159 Капошко Д.А. Термоупрочнение поверхности плужных лемехов методом шаговой наплавки с применением электродов для сварки углеродистых сталей [Текст]: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. СПб.: Пушкин, 2007. 18 с.
- 160 Надежность и ремонт машин [Текст]: учебник для вузов / В.В. Курчаткин, Н.Ф. Тельнов, К.А. Ачкасов [и др.]; под ред. В.В. Курчаткина. М.: Колос, 2000. 776 с.
- 161 Технология ремонта машин [Текст] / Е.А. Пучин, В.С. Новиков, Н.А. Очковский [и др.]; под ред. Е.А. Пучина. М.: КолосС, 2007. 488 с.
- 162 Сварка в машиностроении [Текст]: справочное издание: в 4-х т. Т. 1 / под ред. Н.А. Ольшанского. М.: Машиностроение, 1978. 504 с.
- 163 Оськин В.А., Евсиков В.В. Материаловедение. Технология конструкционных материалов [Текст]: в 2-х т. Т. 1. М.: КолосС, 2007. 447 с.
- 164 Батищев А.Н., Голубев И.Г., Лялякин В.П. Восстановление деталей сельскохозяйственной техники [Текст]. М.: Информагротех, 1995. 296 с.
- 165 Ачкасов К.А. Прогрессивные способы ремонта сельскохозяйственной техники [Текст]. М.: КолосС, 1984. 271 с.
- 166 Михальченков А.М., Козарез И.В., Комогорцев В.Ф. Повышение износостойкости плужных лемехов получением биметаллических покрытий наплавкой [Текст] // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения: сборник научных трудов. Брянск: Изд-во Брянская ГСХА, 2007. С. 73-74.
- 167 Михальченков А.М. Восстановление деталей двухслойной наплавкой [Текст] // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1995. № 1. С. 22-23.
- 168 Каракозов Э.С. Соединение материалов в твердой фазе [Текст]. М.: Металлургия, 1976. 264 с.
- 169 Новиков В.С., Беликов И.А. Повышение износостойкости рабочих органов плуга наплавкой керамическими материалами [Текст] // Ремонт, восстановление, модернизация. 2002. № 11. С. 37-40.
- 170 Новое направление повышения долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин – применение технической керамики [Текст] / М.Н. Ерохин, В.С. Новиков, А.А. Сопко [и др.] // Технология и средства технического сервиса машин в агропромышленном комплексе. М.: МГАУ им. В.П. Горячкина, 2000. С. 38-47.
- 171 Восстановление и упрочнение режущей кромки лемеха пайкой металлокерамических пластин [Текст] / В.В. Гончаренко, А.В. Фербяков, Ю.А. Кузнецов [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2006. № 11. С. 21-22.
- 172 Голубев И.Г., Спицын И.А. Ремонт сельскохозяйственных машин в условиях мастерских сельских товаропроизводителей [Текст]. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2001. 88 с.
173. Будко С.И., Зуева Д.С. Увеличение ресурса плужных лемехов восстановлением их заправкой лучевидного износа [Текст] // Конструирование, использование

и надежность машин сельскохозяйственного назначения: сборник научных работ. Брянск: Изд-во Брянская ГСХА, 2007. С. 84-89.

174 Михальченков А.М., Козарез И.В., Будко С.И. Технологические приемы повышения ресурса лемехов [Текст] // Сельский механизатор. 2008. № 2. С. 39-41.

175 Михальченков А.М., Романов М.С., Паршиков П.А. Восстановление лемехов приваркой дополнительных элементов [Текст] // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения: сборник научных трудов. Брянск: Изд-во Брянская ГСХА, 2008. С. 111-116.

176 Смирнягин Г.Ф. Исследование процесса электроконтактного напекания порошков [Текст]: автореф. дис. ...канд. техн. наук. Челябинск, 1972. 196 с.

177 Корнилович С.А. Сварка и наплавка металлов при ремонте машин в сельском хозяйстве [Текст]. Омск: Изд-во Омский ГАУ, 1997. 200 с.

178 А. с. №307877 СССР. Способ восстановления изношенных поверхностей / А.В.Поляченко, Л.Б. Рогинский; опубл. в 1971, № 21.

179 Буренко Л.А., Винокуров В.Н. Ремонт сельскохозяйственных машин [Текст]. М.: Россельхозиздат, 1981. 189 с.

180 Пат. 2184639 Российской Федерации. Способ наплавки износостойких покрытий [Текст] / Стребков С.В., Булавин С.А., Макаренко А.Н., Горбатов С.А.; опубл. 2004, Бюл. № 7.

181 А.с. № 241959 СССР. Способ восстановления плужных лемехов и культиваторных лап [Текст] / Г.И. Костровский, В.В. Усов, В.Г. Иващенко [и др.]; опубл. 1969, Бюл. № 14.

Учебное пособие

Михальченков Александр Михайлович
Козарез Ирина Владимировна
Тюрева Анна Анатольевна

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН

учебное пособие
для самостоятельной работы студентов,
обучающихся по очной, очно-заочной и заочной формам обучения
по направлению подготовки 35.04.06 Агроинженерия, магистерская программа
Технический сервис в АПК

Редактор Павлютина И.П.
Компьютерная верстка Егорова Т.А.

Подписано к печати 08.05.2018 г. Формат 60x84 1/16. Бумага печатная.
Усл. п.л. 5.98. Тираж 100. Издат. № 5921.

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