

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., Феськов С.А.

ИЗНОСЫ ДЕТАЛЕЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПЛУГОВ

монография

Брянская область, 2021

УДК 631.312.02:629.08 (035.5)

ББК 40.72:30.82

И 37

Михальченков, А.М. Износы деталей рабочих органов плугов: монография / А.М. Михальченков, И.В. Козарез, А.А. Тюрева, С.А. Феськов. – Брянск. Издательство Брянского ГАУ, 2021. – 173 с.

ISBN 978-5-88517-325-4

Рецензенты:

заведующий отделом перспективных технологий ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ»
д.т.н., профессор А.В. Коломейченко;

д.т.н., профессор кафедры ТОЖиПП ФГБОУ ВО Брянский ГАУ А.И. Куп-
реенко.

Монография может быть использована при подготовке и выполнении выпускных квалификационных работ и магистерских диссертаций по направлению подготовки Агроинженерия, а также быть полезной преподавателям ВУЗов и инженерно-техническим работникам предприятий АПК различных форм собственности.

Монография рассмотрена и рекомендована к изданию методической комиссией инженерно-технологического института, протокол № 3 от 25 октября 2021 года.

ISBN 978-5-88517-325-4

© Брянский ГАУ, 2021

© Михальченков А.М., 2021

© Козарез И.В., 2021

© Тюрева А.А., 2021

© Феськов С.А., 2021

СОДЕРЖАНИЕ

1 ОБРАБОТКА ПОЧВЫ.....	5
1.1 Классификация видов обработки почвы.....	5
1.2 Вспашка.....	7
1.3 Плуги. (Рассматриваются только плуги для отвальной вспашки).....	7
1.4 Рабочие органы плуга	8
1.5 Конструкция лемехов	8
1.6 Конструкция отвалов	40
1.7 Дефекты деталей рабочих органов (лемеха и отвалы).....	47
1.7.1 Дефекты плужных лемехов.....	47
1.7.1.1 Цельнометаллические лемеха отечественного производства	47
1.7.1.2 Составные лемеха импортного производства	49
1.7.1.3 Дефекты отвалов плужных корпусов.....	54
2 АБРАЗИВНОЕ ИЗНАШИВАНИЕ И РОЛЬ ПОЧВ ПРИ ИЗНАШИВАНИИ.....	57
2.1 Существующие представления о механизме абразивного изнашивания	57
2.2 Факторы, влияющие на процесс абразивного износа	61
2.3 Показатели, определяющие специфику изнашивания плужных лемехов.....	64
2.4 Стойкость материала детали к абразивному изнашиванию	66
2.5 Эксплуатационные факторы, влияющие на абразивное изнашивание деталей рабочих органов почвообрабатывающих орудий	70
3 ПОЧВЫ, КАК АБРАЗИВНАЯ СРЕДА.....	71
3.1 Гранулометрический состав почв. Общая характеристика	71
3.1.1 Характеристика гранулометрического состава почв Нечерноземья России (на примере Брянской области).....	75
3.2 Изнашивающая способность почв	78

3.3 Влияние почвенных условий на характер износа деталей рабочих органов почвообрабатывающих орудий	82
4 ИЗНАШИВАНИЕ ЛЕМЕХОВ И ОТВАЛОВ	
ПЛУЖНЫХ КОРПУСОВ	86
4.1 Изнашивание лемехов.....	86
4.1.1 Изменение геометрических параметров цельнометаллических лемехов отечественного производства	86
4.2 Анализ износов составных лемехов импортного производства	90
4.2.1 Лемеха фирмы Voge I& Noot	90
4.2.2 Статистический анализ износов лемехов и долот фирмы Lemken .	101
4.2.3 Статистический анализ дефектов лемехов компании Kverneland Group	114
4.3 Лучевидный износ, как главная причина выбраковки лемехов	125
4.3.1 Качественный анализ признаков лучевидного износа	125
4.3.2 Геометрическая модель лучевидного износа лемехов	129
4.3.3 Математическое моделирование геометрии лучевидного износа ..	135
4.3.4 Математическая модель геометрии лучевидного износа отвалов ..	140
4.3.5 Характер и интенсивность изнашивания отвала	141
4.3.6 Анализ гистограмм распределения вертикальных координат нижних (h_1) и верхних (h_2) точек профиля износа в виде сквозного протирания	145
4.3.7 Математическое моделирование наиболее характерного вида износа (протирания).....	146
4.3.8 Анализ изменения геометрии износа по толщине отвала	149
4.3.9 Анализ износов отвала по периметру	151
4.3.10 Износ наиболее вероятной области образования дефекта.....	153
4.3.11 Изучение износов по массе	155
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	163

1 Обработка почвы

Обработка почвы — механическое воздействие на почву почвообрабатывающими машинами и орудиями с целью создания оптимальных почвенных факторов жизни растений, а также уничтожения сорной растительности и защиты почвы от эрозионных процессов. Является основным агротехническим средством регулирования режимов почвы, интенсивности биологических процессов и фитосанитарного состояния. Качественная, своевременная, научно обоснованная обработка является средством повышения плодородия, урожайности культур и неотъемлемой частью интенсивных эффективных ресурсосберегающих систем земледелия [1].

1.1 Классификация видов обработки почвы

Обработка почвы включает в себя следующие операции: оборачивание; рыхление; крошение; перемешивание; уплотнение; выравнивание поверхности; подрезание сорняков; создание микрорельефа.

Оборачивание заключается во взаимном перемещении в вертикальном направлении слоев или горизонтов почвы. При этом заделывается: дернина, растительные остатки, удобрения, осыпавшиеся семена, сорные растения, возбудители болезней и вредители культур. Эта операция улучшает показатели плодородия нижней части пахотного слоя. Оборачивание проводят отвальными плугами и лемешными луцильниками [2].

Рыхление почвы обеспечивает изменение взаимного расположения комков и агрегатов, с образованием более крупных пор. Оно способствует увеличению некапиллярной пористости, аэрации почвы, водо- и воздухопроницаемости, улучшению теплового режима и активности почвенной микрофлоры, повышению доступности влаги, питательных веществ, облегчению проникновения корней в глубокие слои почвы и перенесение засухи. Рыхление проводят пассивными и активными рабочими органами орудий [3].

При крошении происходит дробление крупных комков и глыб на более мелкие и создаются условия для: уменьшения испарения влаги; ускорения появления всходов; стимулирования роста растений; равномерной заделки семян. Операция выполняется дисковыми боронами и катками [4].

Перемешивание почвы создает однородный слой почвы с равномерным распределением продуктов разложения органических веществ, удобрения, повышает эффективность известкования или гипсования и улучшает доступность питательных веществ растениям. Проводится одновременно с рыхлением и оборачиванием плугами без предплужников, отвальными и дисковыми лущильниками и почвенными фрезами [5].

Уплотнение влияет на взаимное расположение почвенных отдельностей с образованием более мелких пор, уменьшает некапиллярную порозность, увеличивает объем мелких капиллярных пор, приводит к более тесному соприкосновению семян с почвой. Выполняется катками с различной рабочей поверхностью [6].

Выравнивание устраняет неровности поверхности почвы, а также сокращает степень испарения влаги, обеспечивает равномерность посева семян, выполнение качественной работы сельскохозяйственных машин. Операция осуществляется шлейфами, волокушами, боронами и катками [7].

Подрезание сорняков проводится одновременно с рыхлением, оборачиванием и перемешиванием почвы при вспашке, культивации и лущении [8].

Создание микрорельефа (борозд, гряд, щелей, гребней, лунок, микролиманов) на поверхности почвы необходимо для обеспечения оптимальных водного, воздушного, питательного, теплового режимов. При создании микрорельефа используют бороздоделатели, окучники, грядоделатели, приспособленные к плугам, лункоделатели, щелерезы. В засушливых регионах микрорельеф создают путем прерывистого бороздования зяби, лункования, щелевания. В случае сохранения стерни для снижения риска эрозии используют применяют культиваторы-плоскорезы, игольчатые бороны, стерневые сеялки, глубокорыхлители-плоскорезы [9].

Как следует из вышеизложенного оборачивание совмещается или включает в себя ряд других операций [10] и производится плугами путем вспашки.

1.2 Вспашка

Вспашка — прием основной обработки почвы, обеспечивающий оборачивание пласта обрабатываемого слоя не менее чем на 135° , рыхление и частичное перемешивание почвы, подрезание подземной части растений, заделку удобрений и растительных остатков. Вспашка изменяет сложение пахотного слоя, придавая ему рыхлую комковатую структуру [11].

Качество вспашки определяется агротехническими требованиями, заключающимися в следующем: должна проводиться культурными плугами с предплужниками; средняя глубина обработки не должна отклоняться от установленной ± 2 см; пласт почвы должен быть обернут, раскрошен и плотно уложен при этом неровность рельефа не должна превышать 10,7 см.; пласты должны быть одинаковыми, поверхность пашни ровной, комья размером 10 см не должны превышать 20% её поверхности; органические удобрения заделываются не менее чем на 95%, пожнивные остатки и сорняки на глубину 12-15 см; не обработанные пробелы не допускаются; свальные гребни не должны превышать высоту 7 см общего верхнего уровня пашни, а глубина под ними не менее половины установленной; борозда на участке 500 метров может отклоняться не более чем 1 метр; рекомендуется пахоту проводят поперек борозд предыдущей вспашки; рабочая скорость движения пахотного агрегата определяется функциональным назначением плуга (5-8 км/час – 9-12 км/ч скоростные плуги) [12].

Глубина вспашки для почв нечерноземной зоны РФ составляет 20-25 см [13].

Как уже отмечалось, вспашка выполняется плугами различного конструктивного исполнения [14].

1.3 Плуги. (Рассматриваются только плуги для отвальной вспашки)

Классификация плугов весьма разнообразна. Например, навесные, полунавесные, полуприцепные, прицепные – по способу крепления к трактору [14]. По количеству корпусов – однокорпусные и многокорпусные [12]. Кроме этого последнее время используются оборотные плуги [13], которые обеспечивают

значительное увеличение производительности вспашки. Для уменьшения тягового сопротивления и повышения скорости перемещения пахотного агрегата в последнее время отечественными конструкторами разработаны скоростные плуги [15].

Плуг классической конструкции имеет следующие детали: рама; опорное колесо; предплужники; лемеха; отвалы; стойки; балка жесткости; винт опорного колеса; подвеска.

1.4 Рабочие органы плуга

К рабочему органу плуга относится его корпус (рисунок 1), который состоит из следующих деталей: стойка (в названиях конструктивных элементов отсутствует; расположена вертикально); лемех; накладное долото; грудь отвала; перо отвала; углосним.



Рисунок 1– Типичный корпус плуга

1.5 Конструкция лемехов

Основным элементом рабочего органа плуга является лемех, который производит подрезание пласта, его перемещение на поверхность отвала и вне которой степени обеспечивает крошение почвы [13].

Конструкция лемеха, во многом определяет его долговечность и энерго-

затраты при вспашке, оказывает влияние на возможность дальнейшего восстановления; должна обеспечивать соблюдение агротехнических и эксплуатационных требований в заданных нормативах [16-22]. Технологичность изготовления детали также немаловажный фактор, влияющий на экономическую составляющую ее производства [23-29].

Хотя первые сведения о применении лемешных плугов относятся ко второму тысячелетию до нашей эры (Китай) работы по совершенствованию их конструкций продолжают до настоящего времени и в перспективе не предвидится их завершения. Возможны подходы к созданию лемехов базирующиеся на последних представлениях науки, например, с применением наноматериалов и нанотехнологий [30].

Особенно активно совершенствованием форм этой детали ученые, практики и научные организации начали заниматься с 30-х годов XX века [31].

В результате этих исследований и исторического опыта были найдены наиболее приемлемые геометрические формы лемехов которые свелись к двум разновидностям: первая – трапециевидная; вторая – долотообразная, что и было положено в классификацию [32]. Однако известна и другая форма классификация лемехов – по их назначению [33], по применяемому материалу и виду упрочняющей обработке [34].

В последние годы определилось направление заключающееся в создании цельнометаллических и составных деталей. Поэтому дальнейшее рассмотрение типов конструкций будет базироваться на следующей классификации:

1. Цельнометаллические конструкции;
2. Составные конструкции.

Цельнометаллические лемеха имеют две геометрические формы - трапециевидную и долотообразную.

Наиболее простым по конструкции является лемех, представляющий собой неправильную (неравнобокую) трапецию у которого лезвие параллельно спинке (рисунок 2а). В связи с этим производство трапециевидного лемеха имеет сравнительно невысокую себестоимость. Достоинства этого лемеха про-

является в его технологической простоте изготовления, где не требуется сложнопрофильного проката, специального штампового оборудования и многоручьевых штампов. Основным недостатком его является быстрая утрата заглубляющей способности и, как следствие, снижение равномерности глубины вспашки, повышения тягового сопротивления и снижение устойчивости хода плуга. Такая конструкция лемеха как правило применяется на корпусах, предназначенных для обработки песчаных и супесчаных почв [35].

Трапециевидный лемех ЛДО-02, у которого плоскость лезвия расположена под углом к его спинке (рисунок 2,б) и имеется с тыльной стороны запас металла – «магазин», расположенный по всей длине детали. «Магазин» предназначен для формирования изношенного носка и лезвия методами горячей обработки давлением, для возобновления утраченного деталью ресурса выполняющую роль ребра жесткости (Запас металла характерен для большинства лемехов отечественного производства). Для увеличения прочности и износостойкости лемеха производится местная закалка лезвийной части. Такая геометрия способствует некоторому увеличению ресурса детали до первого отказа. Улучшаются показатели по заглубляемости и устойчивости хода плуга. Наличие «магазина» позволяет, по сведениям ряда авторов, подвергать лемех трехкратному восстановлению [36]. Если же износ носка достигает более 60 мм (рекомендуемый допуск 65 мм [37]), то возможно только однократное восстановление. Лемех ЛДО-02 изготовлен из лемешной полосы постоянного профиля. Последнее обстоятельство делает этот лемех достаточно технологичным при изготовлении. Недостатком его является повышение массы по сравнению с серийным на 0,35 кг и недостаточная прочность и износостойкость в носовой области.

Трапециевидные лемеха выпускают в весьма ограниченных масштабах и по специальным заказам, так как по своим эксплуатационным, агротехническим показателям и ресурсу они существенно уступают долотообразным лемехам.

Долотообразный лемех (рисунок 3, а, б, в) является наиболее распространенным в настоящее время. Он имеет удлиненный носок в виде долота, благодаря чему лучше заглубляется и более устойчив в работе. На тыльной стороне

лезвия и носка лемех имеет запас металла («магазин»), предназначенный для оттяжки металла в зону износа при восстановлении. По мнению ряда авторов [38] наряду с обеспечением, возобновления работоспособности путем восстановления формы горячим пластическим деформированием носка, запас металла может выполнять роль ребра жесткости, что обеспечивает лемеху большую прочность на изгиб. В тоже время известны лемеха с таким же профилем, но не имеющие «магазина». Как правило, они выпускаются небольшими партиями для конкретных регионов на местных предприятиях машиностроения.

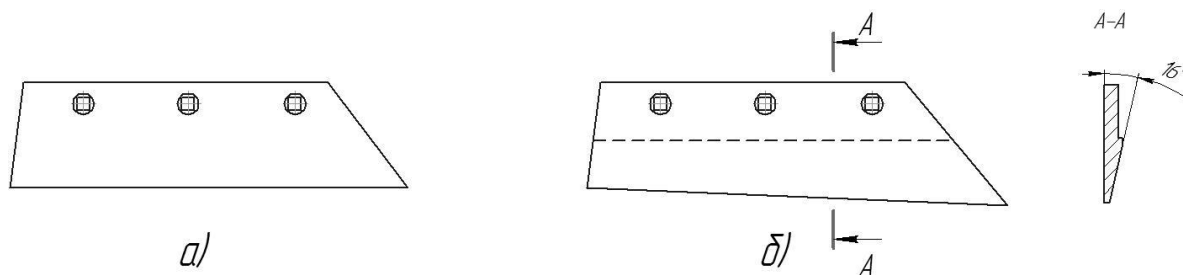


Рисунок 2 - Конструкции трапецевидных лемехов: а) трапецевидный; б) трапецевидный с переменной шириной ЛДО-021

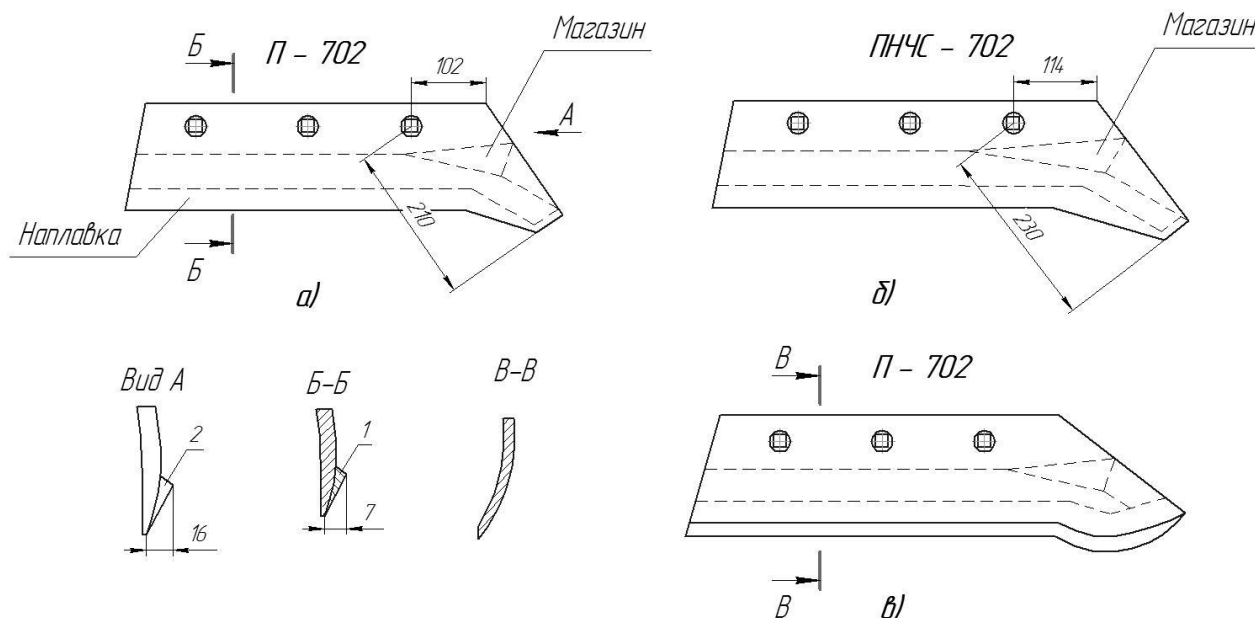


Рисунок 3– Конструкции долотообразных лемехов: а) долотообразный П-702; б) долотообразный ПНЧС-702 в) долотообразный П-702

Изготавливается долотообразный лемех из лемешного периодического проката в нескольких исполнениях, например: П-702 и ПНЧС-702. Причем эти

лемеха могут иметь как затупленные, так и острые носки (рисунок 3 а, б, в). Некоторое увеличение геометрических размеров носовой части лемеха ПНЧС–702 в сравнении с П–702 в определенной мере будет способствовать повышению вероятности изгиба этой области из-за наличия большого изгибающего момента, особенно при воздействии ударных нагрузок. Имеет место и различие в геометрии нижней области носка, для одних и тех же марок (рисунки 3 а, в).

Промышленность освоила упрочнение долотообразных лемехов различными видами наплавки твердыми сплавами, которые позволили в среднем в 1,5 раза поднять их ресурс за счет повышения износостойкости режущего слоя. Наплавка лемехов отечественного производства как правило осуществляется с тыльной стороны, обеспечивая эффект самозатачивания.

По мнению [39] одинаковость толщины и угла заточки лезвия носовой и лезвийной частей, способствует интенсивному изнашиванию лицевой стороны носка, при вспашке песчаных, супесчаных и легких суглинистых почв, особенно при наличии каменистых включений, в результате чего лемех имеет ограниченный ресурс даже в случае упрочнения его наплавкой с обратной стороны. Из других источников следует, что повышенный износ связан с недостаточной твердостью этой области в сравнении с твердостью лезвия [40].

В некоторых работах отмечается целесообразность дополнительного крепежного отверстия на носке, что приведет к снижению вероятности его деформирования и разрушения при возникновении динамических нагрузок [41].

Эффект увеличения крошения достигается за счет наличия на рабочей поверхности заостренных выступов (рисунок 4 а, б) и создания на этой же поверхности геометрии, состоящей из выработок в виде выступов и выемок, имеющих параболическую форму (рисунок 4 в, г). Данные конструкции могут выполняться в двух геометрических формах: трапециевидной (рисунок 4 а, в) и долотообразные (рисунок 4 б, г). Однако форма таких поверхностей способствует образованию «мертвых зон», где происходит налипание почвы, приводящее к снижению их крошащей способности и увеличению тягового сопротивления плуга. Кроме того, основной функцией лемеха является не крошение

почвы, а ее подрезание, поэтому в данном случае выполняется не свойственная ему задача.

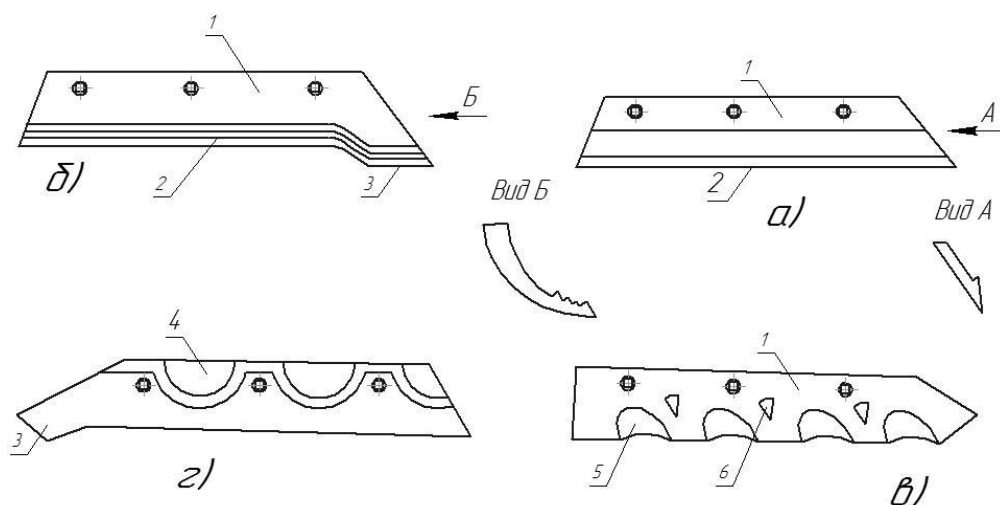


Рисунок 4 - Конструкция лемехов с повышенным крошением почвы при вспашке: 1 – тело лемеха; 2 – лезвие; 3 – носок; 4 – выемки; 5 – полуовальные отверстия; 6 - шипы

Немаловажным моментом в сдерживании использования таких лемехов является их сравнительно технологическая сложность при изготовлении.

Повышение износостойкости лемехов, их сопротивляемость изгибающим нагрузкам всегда вызывала повод у исследователей для создания таких конструкций, которые бы способствовали снижению указанных факторов, поэтому создана конструкция лемеха [42], которая получила название лемех «Лискина» (рисунок 5). Отличительная особенность конструкции состоит в том, что лицевая рабочая поверхность 8 и тыльная 9 представляют собой вогнутые кривые (сечение А-А), параллельные между собой. Угол наклона α участков 8 и 9 к горизонтальной плоскости (дну борозды) меньше угла наклона β (угла заточки). Для упрочнения носка 10 и повышения его износостойкости на линии, проведенной из начала носка до первого крепежного отверстия 11, выштамповано ребро жесткости 13 и нанесена наплавка 12 в виде полос, параллельных оси симметрии носка 10, а на тыльной стороне - параллельно полевому обрезу.

Наплавка нанесена по всей толщине основы лемеха на полевом обрезу 6 и на обеих сторонах лезвия 5 точечной наплавкой износостойкого элемента. Полосовая и точечная наплавка на противоположных сторонах размещена со сме-

щением (сечение Б-Б, рисунок 5, б).

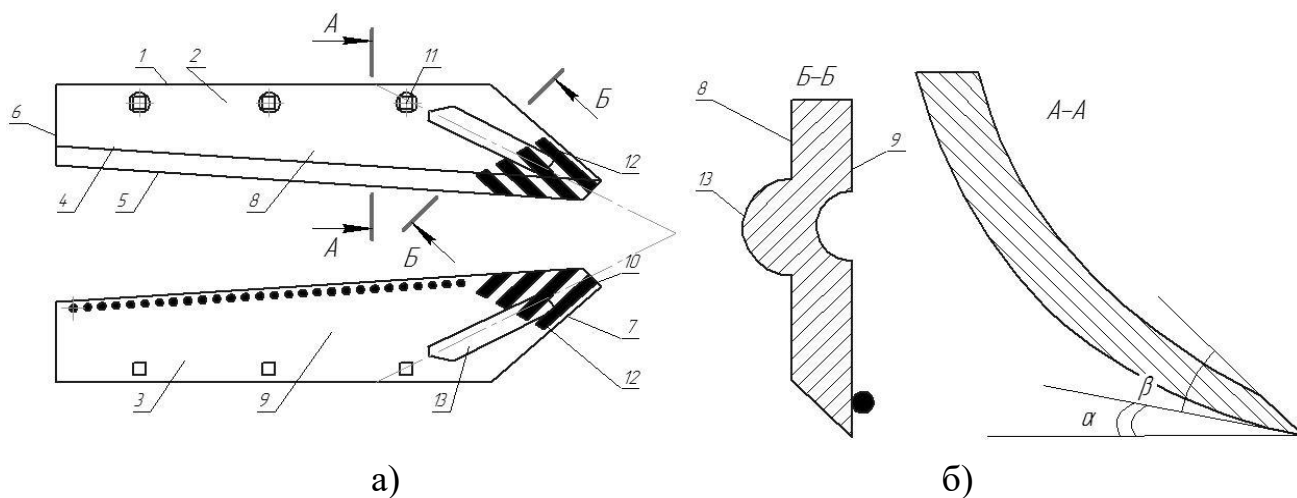


Рисунок 5 - Плужный лемех с криволинейным участком изгиба: а) - рабочая и тыльная стороны лемеха; б) - расположение полос твердосплавного элемента на поверхности лемеха. 1 – спинка; 2, 3 – рабочая и тыльная сторона соответственно; 4 – режущая часть; 5 – лезвие; 6, 7 – полевые и бороздные обрезы соответственно; 8, 9 – лицевая и тыльная поверхность соответственно; 10 – носок; 11 – крепежное отверстие; 12 – наплавка; 13 – ребро жесткости

Исходя из условий работы лемеха, действующих на его различные участки нагрузок, характера изнашивания, а также конструктивных особенностей отечественных, для вспашки всех типов почв, кроме каменистых, предложены два вида опытных конструкций лемехов: долотообразный и трапециевидный.

На рисунке 6 представлены схемы конструкций этих лемехов. Особенности опытных лемехов заключаются в следующем: лемехи изготавливались из сталей 45, 65Г, 40Х; ширина лемеха со стороны бороздного обреза: 130 мм - для трапециевидного и для долотообразного: ширина со стороны полевого обреза: 150 мм - для трапециевидного и 155 мм - для долотообразного; носок лемеха на длине 130...150 мм затачивался под углом 20...25°, лезвийная часть на длине 380...400 мм - под углом 8..10°; объемная закалка и отпуск проводились до твердости: для стали 40Х - HRC45... 50, для стали 65Г - HRC 45...48, для стали 45 - HRC 30. Ударная вязкость для всех сталей обеспечивалась на уровне

$KCU \approx 30 \text{ Дж/см}^2$;

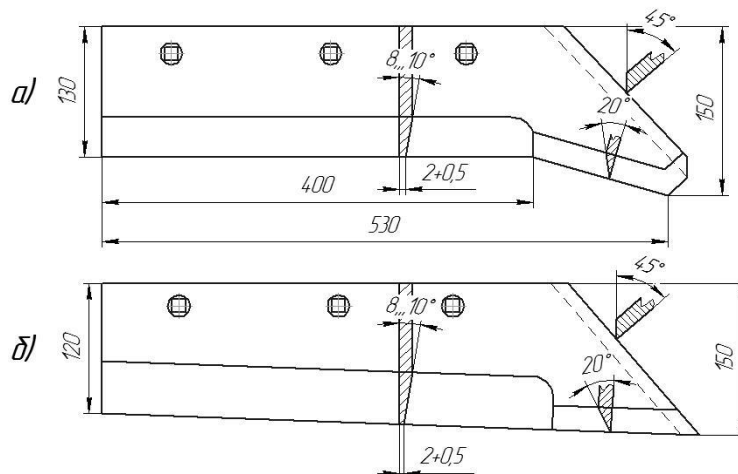


Рисунок 6 – Конструкции опытных лемехов: а) долотообразный; б) трапециевидный с переменной шириной толщина носовой части лемеха составляла 10...12 мм, лезвийной части – 8...10 мм

Отсутствие кривизны рабочей поверхности препятствует обороту пласта и сходу его с лемеха. Форма носка у долотообразного лемеха создает условия для роста сопротивления перемещению плуга.

Известны долотообразные свальные зубчатые лемехи (рисунок 7) для тяжелых (а) и плотных сильно иссушенных почв (б).

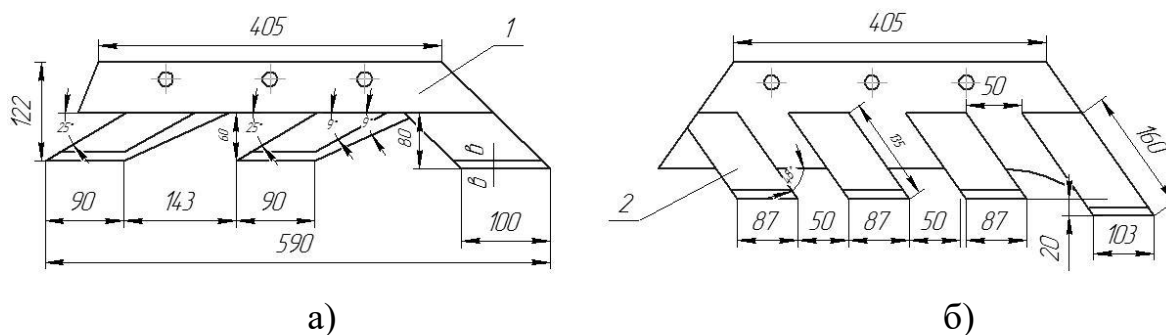


Рисунок 7 - Сварные зубчатые лемеха: 1 – тело лемеха; 2 – свальной зуб

Такие лемеха хорошо зарекомендовали себя на вспашке сухих не каменистых почв, однако на увлажненных и мягких почвах, засоренных камнями, они получили отрицательные отзывы, вызванные поломками носкового зуба, забиванием межзубового пространства, и в связи с этим возрастанием тягового сопротивления и выглублением плуга. Решение имеет один недостаток – снижение жесткости конструкции в целом, ведущее к понижению конструкционной прочности изделия.

По видимому немаловажную роль в ограничении их применения сыграла и сложность конструктивного исполнения, ведущая к усложнению технологии изготовления.

Плужный лемех (лемех конструкции Брянской ГСХА, рисунок 8) обеспечивает повышение стойкости к абразивному изнашиванию при эксплуатации на почвах с повышенной изнашивающей способностью [43] (160...300 г/га).

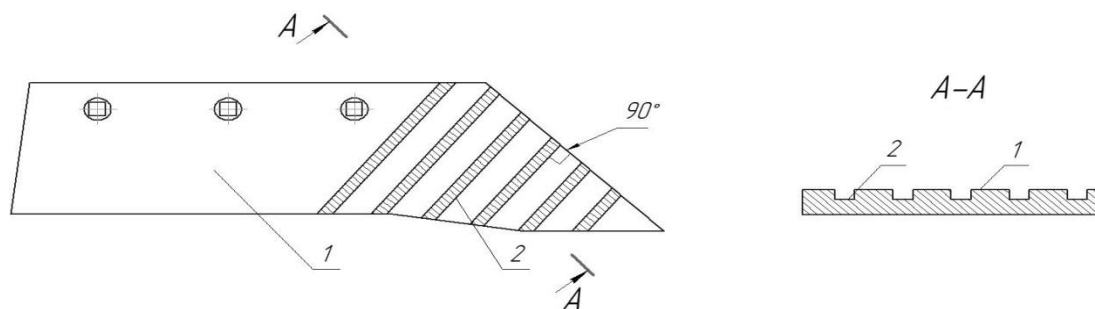


Рисунок 8 - Плужный лемех (лемех конструкции Брянской ГСХА): 1 - рабочая поверхность, 2 - пазы на рабочей поверхности

На рабочей поверхности носовой части осуществлена выработка пазов определенной ширины и шага перпендикулярно полевому обрезу либо перпендикулярно движению почвенного пласта. В результате контактирующая поверхность представляет собой периодический профиль прямоугольной формы. Глубина пазов выбирается исходя из условия соблюдения необходимой жесткости детали и составляет не более 5...6 мм. Повышение стойкости к абразивному изнашиванию обеспечивается за счет заполнения пазов составляющими почвы, представляющими собой абразивную среду, которая закрепляется в данных пазах. В результате этого в области носка создается поверхность, представляющая собой композит, имеющий износостойкую составляющую (пазы заполненные почвой) и основу (металл лемеха), что в свою очередь способствует увеличению износостойкости рабочей поверхности при сохранении необходимой жесткости. Расстояние между пазами и их ширина определяются гранулометрическим составом почвы.

Между тем следует полагать, что жесткость носка все же будет снижена, повышая тем самым склонность к изгибу. Имеет место и некоторое усложнение конструкции, приводящая к дополнительным операциям при изготовлении.

Лемех (рисунок 9), конструкция которого позволяет достичь повышенной долговечности и эксплуатационной надежности путем выравнивания интенсивности изнашивания носка и лезвия. Долотообразный носок наплавлен с тыльной стороны, при этом ширина наплавленного слоя соответствует ширине носка, длина ограничена режущей кромкой носка и линией предельно допустимого износа лезвия, причем толщина слоя твердого сплава равна 1,5...2 мм, а отношение износостойкости твердого сплава к износостойкости материала лезвия находится в пределах 3,5...4,5. В процессе эксплуатации такого лемеха носок и лезвие изнашиваются примерно с одинаковой интенсивностью, что позволяет сохранить неизменной первоначальную долоотообразную форму лемеха в плане, расширить зону изнашивания лезвия до линии его предельного износа и тем самым повысить ресурс лемеха при условии сохранения его функциональных качеств, в соответствии с нормативами.

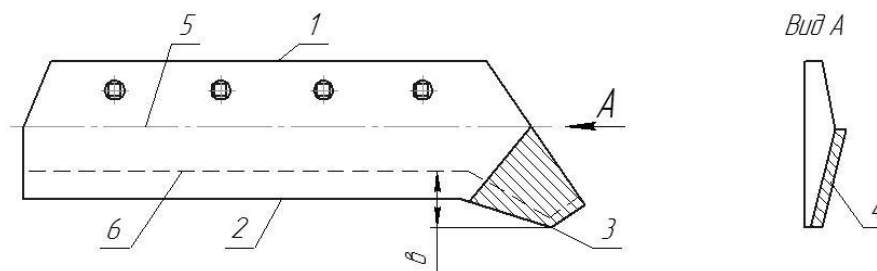


Рисунок 9 – Лемех плуга: 1 – корпус; 2 – лезвие; 3 – долоотообразный носок; 4 – наплавленный слой; 5 – предельно допустимый износ лезвия; 6 – линия износа

Хотя, по мнению конструкторов, между лезвием и долоотообразным носком (вернее нижней носовой частью) будет достигаться условие равноизнашиваемости, однако усиленный износ, полевого обреза в неупрочненной части, фактически сведет на «нет» достигнутый эффект. Более того, практический опыт и ряд экспериментов установили, что после упрочнения носовой части лемеха износостойкими сплавами, деталь становится неремонтнопригодной. Не нужно забывать экономическую сторону – электродные материалы для наплавки твердых, износостойких материалов достаточно дороги. Кроме отмеченного, при абразивном изнашивании имеют место безвозвратные потери дефицитных и невосполняемых легирующих элементов.

Плужный лемех (рисунок 10), в конструкции которого предусмотрены наличие армирующих валиков в области носка лемеха, где происходит образование лучевидного износа и заплата нижней части носка лемеха на расстояние не менее 100 мм. Формирование валиков может осуществляться штамповкой, литьем либо наплавкой. Рекомендуется производить наплавку электродами с малоуглеродистым стержнем ($C \leq 0,08 \%$), чем обеспечивается примерно одинаковый износ по поверхности. В результате удастся предупредить появление лучевидной формы износа и повысить стойкость нижней части носка к абразивному изнашиванию и разрушению. Наличие наплавленного металла в нижней части носка увеличивает время изнашивания за счет большого объема металла и его сравнительно высокой твердости.

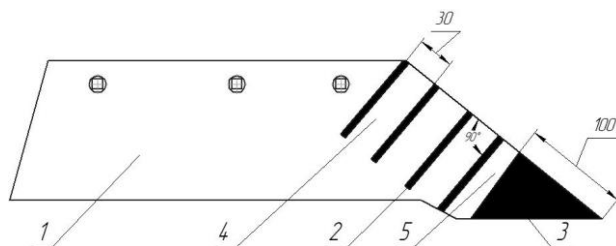


Рисунок 10 - Рабочий орган для подрезания почвы (лемех): 1 – рабочая поверхность; 2 – армирующие валики; 3 – наплавленный дополнительный металл; 4 – область образования лучевидной формы износа; 5 – нижняя часть носка

Увеличение твердости достигается за счет охлаждения носка сразу же после наплавки, когда температура превышает температуру фазовых превращений. Лемех такой конструкции целесообразно применять при вспашке почв с наличием гравиевидных включений, особенно с наличием большого количества глины, где изнашивание происходит закрепленными частицами.

Лемех плуга для отвальной вспашки (рисунок 11), состоящий из корпуса 1 и приваренной носовой части 3 (долота), копирующей геометрию стандартного долотообразного лемеха с соответствующими углами заточки полевого обреза и режущей нижней части. Привариваемое долото обладает повышенной стойкостью к абразивному изнашиванию, что достигается упрочняющей обработкой на твердость не менее HRC 42...50 по всему объему. Изготовление тако-

го лемеха возможно в условиях хозяйств товаропроизводителей при наличии лемехов с предельным износом носовой частью. Эта часть лемеха удаляется параллельно полевому обреза и далее встык дуговой сваркой приваривается новое долото, выполненное из стали повышенной сопротивляемости абразивному изнашиванию и соответствующее геометрическим параметрам детали по агротехническим условиям. Сварка осуществляется с двух сторон для увеличения прочности сварного соединения. В качестве материала для долота, возможно, использовать износостойкую сталь в виде полосы, либо сталь, прошедшую упрочняющую обработку, как правило, закалку в масле с последующим средним отпуском. Учитывая, что такой вид термической обработки характерен для процесса изготовления рессор, то имеется возможность использования этих деталей утративших упругость для изготовления вставок, как вторичное сырье.

Результатом применения указанной конструкции является: увеличение долговечности и абразивной износостойкости лемеха, несложность технологии изготовления и достаточно высокая ремонтпригодность.

Недостатком конструкции следует считать, нарушение ее жесткости, приводящей к снижению сопротивления ударным нагрузкам, характерным для почв с наличием камней.

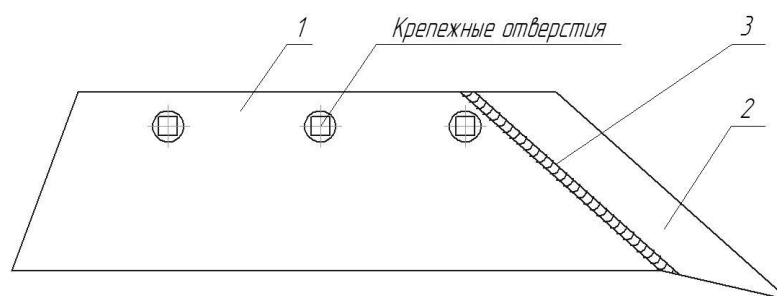


Рисунок 11 - Лемех плуга для отвальной вспашки: 1 – корпус лемеха; 2 – долото (носовая часть); 3 – сварной шов

Лемех плуга для отвальной вспашки с рифленой рабочей поверхностью (лемех Михальченкова А.М.) (рисунок 12) [44] обеспечивает увеличение стойкости лемеха для отвальной вспашки к изгибам, изломам, трещинообразованию и абразивному изнашиванию при использовании на почвах различных типов.

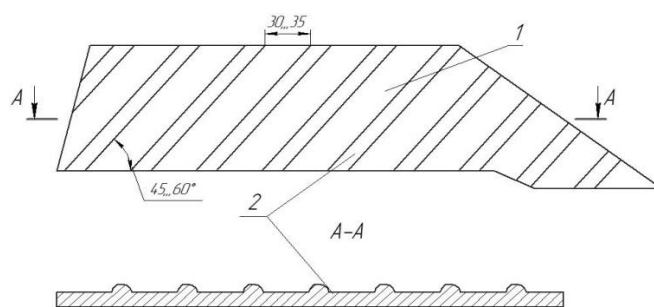


Рисунок 12 - Лемех плуга для отвальной вспашки с рифленой рабочей поверхностью (лемех Михальченкова А.М.): 1 - рабочая поверхность; 2 - полусферические выступы (рифли)

На рабочей поверхности производится выштамповка выступов (рифлей) с профилем полукруга радиусом 3...4 мм. В результате рабочая поверхность представляет собой профиль, имеющий прямолинейные участки с периодически повторяющимися рифлями. Выступы располагаются на рабочей поверхности по всей ее ширине под углом к лезвию 45...60°, либо перпендикулярно левому обрезу. Расстояние между соседними выступами составляет 30...35 мм. В результате за счет увеличения жесткости всего лемеха удается обеспечить необходимую стойкость к появлению изгибов, трещин и изломов. Кроме этого возрастает ударная вязкость детали в целом. При этом происходит увеличение стойкости всей площади рабочей поверхности к абразивному изнашиванию вследствие наличия ряда факторов: снижение пути контактирования абразивной среды с рабочей поверхностью; проскальзывание частиц почвы при движении по рифленой поверхности, что снижает коэффициент трения. Существенным недостатком в этом случае можно считать усложнение технологического процесса изготовления детали и сравнительно высокий расход металла.

Плоский трапециевидный лемех фирмы «Morris» Канада изготавливают из полосового проката (рисунок 13). Лемех, предназначенный для обработки легких, слабосвязанных почв, отличается простотой изготовления, однако ограничен в применении составом почв. По видимому его ресурс ограничен при вспашке отмеченных почв, так как они, как правило, имеют повышенную изнашивающую способность.

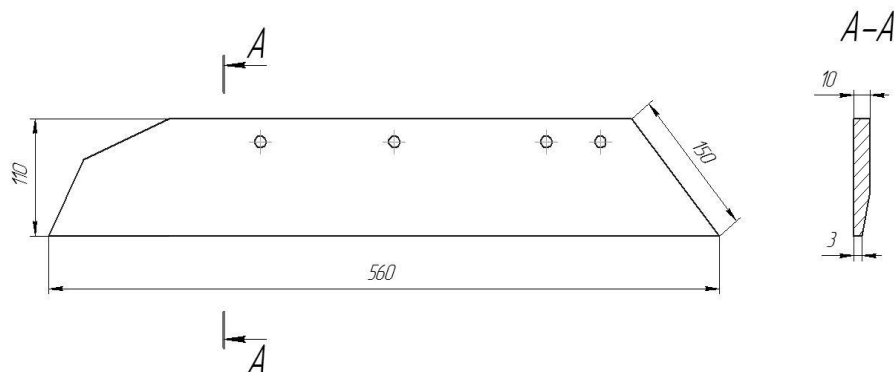


Рисунок 13 - Трапециевидный плоский лемех фирмы «Morris» Канада

Долотообразный лемех с гладкой рабочей поверхностью (рисунок 14) фирмы «Raba» (Венгрия) производится по лицензии фирмы «International Harvester». Лемех изготавливается вырубкой из полосового проката с последующей приваркой к остову долота 2 шириной 15 мм из стали Ст 10кп. Лемех крепится к корпусу четырьмя болтами, причем отверстие под крепеж выполнено в виде круглого отверстия лыской 3. Такой крепеж характерен для многих конструкций лемехов зарубежного производства. По сравнению с квадратным отверстием это существенно снижает влияние концентраторов напряжений на усталостную прочность лемеха. Однако отсутствие сколь либо заметных переменных нагрузок дает основание усомниться в сделанном выводе. Остов 1 лемеха имеет симметричный относительно поперечной оси профиль с наибольшей толщиной 15 мм и наименьшей - 10 мм (рисунок 14).

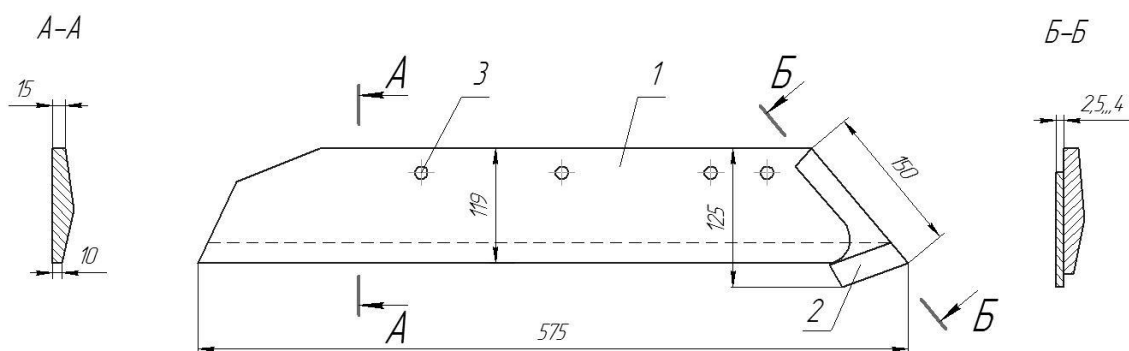


Рисунок 14 - Долотообразный плоский лемех фирмы «Raba» (Венгрия):
1 – остов лемеха; 2 – приваренное долото; 3 – отверстие

Полосовой прокат изготавливается из среднеуглеродистой марганцовистой стали без термической обработки с твердостью HRC 10...12.

Лезвие лемеха наплавлено с тыльной стороны, а полевой обрез и долотооб-

разный выступ - с лицевой стороны твердым сплавом. Таким образом, долотообразный выступ оказывается наплавленным с двух сторон. Толщина наплавки на лезвии увеличивается от 1 мм на кромке лезвия до 4 мм средней части наплавленного слоя. Ширина наплавленного слоя по лезвию составляет 25 мм. Ширина и толщина наплавки на полевом обрезе достигает до 25 мм и 4 мм. Наплавка твердого сплава производится методом лежачего электрода. Сплав содержит до 6 % хрома и до 10 % титана и по износостойкости несколько уступает отечественным сплавам ПГС и ФБХ. Следует отметить, что износостойкость обеспечивается карбидами недефицитного титана, а отечественных сплавов, дефицитного хрома, содержание которого в сплавах ПГС и ФБХ достигает 20...30 %.

Наплавка лежачим электродом относительно сложный технологический процесс, ведущий к удорожанию изготовления детали. Наличие твердого слоя без сомнения сказывает положительное влияние на абразивную стойкость лемеха, истирание же износостойкого покрытия приведет к очень быстрой (катастрофической) потере работоспособности. Наличие сварного соединения снизит жесткость конструкции, способствуя повышению вероятности изгибов и разрушений.

Плужный лемех (рисунок 15) в котором, с целью обеспечения самозатачивания и упрощения производства, наплавленные участки расположены в шахматном порядке в заранее подготовленных углублениях.

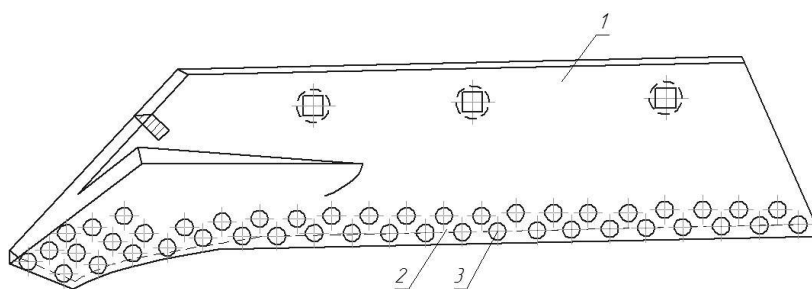


Рисунок 15 – Плужный лемех: 1 – лемех; 2 – лезвие; 3 – углубления для наплавки твердым слоем

При работе лемеха ненаплавленные участки изнашиваются и лезвие принимает зубчатую форму, что по мнению авторов позволяет сохранить эффект самозатачивания и улучшить агротехнические показатели пахоты.

Отмечается достаточная технологичность процесса упрочнения, с этим едва ли можно согласиться, так как предполагаются операции засверливания мест наплавки твердых покрытий, размещение лигатуры и последующего оплавления. Перечисленные операции требуют применения специальных приспособлений (кондукторов). Технология предполагает использование твердых сплавов, что, безусловно, приводит к удорожанию изделия. Остается открытым вопрос о дальнейшей способности восстановлению носка вследствие наличия остатков твердого сплава после достижения детали предельного износа лемеха. Зубчатая форма лезвия не всегда приводит к положительному результату, а иногда и к отрицательному.

Плужный лемех (рисунок 16) для повышения надежности в работе за счет увеличения жесткости. Он содержит основу 1, ребра 2 жесткости и наплавку 3, расположенные на нижней поверхности основы 1. Ребра 2 направлены к носку лемеха и высота их в этом направлении уменьшается. Наплавка 3 размещена от носка лемеха на длине не менее $1/3$ длины ребра 2. Высота ребер 2 составляет $0,6...1,5$ толщины основы 1, которая выполнена из стали, содержащей $0,27...0,5\%$ углерода.

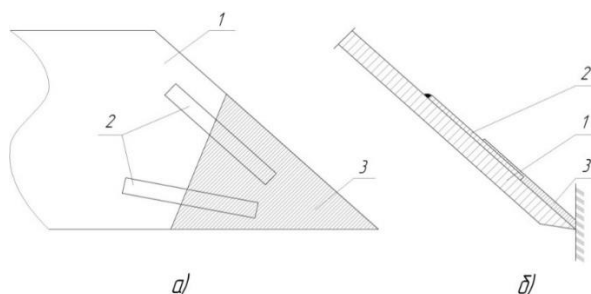


Рисунок 16 - Плужный лемех: а) носовая часть; б) разрез по ребру жесткости, вид сбоку; 1 – основа; 2 – ребра; 3 - наплавка

За счет геометрических параметров наплавки 3 и ребер 2 лемех легко заглубляется в почву, отрезает пласт от дна борозды и поднимает его к отвалу плужного корпуса. Наличие в конструкции лемеха ребер 2, их расположение и состав стали основы 1 улучшают прочностные характеристики лемеха, что снижает количество поломок и увеличивает ресурс работы лемеха до утраты ресурса.

Применение такого лемеха, несомненно, повысит эксплуатационные характеристики корпуса плуга, с точки зрения его прочностных показателей.

Использование подобной конструкции, вероятно, будет рационально при вспашке почв с гравиевидными включениями и минимальной способностью к залипанию, так как дополнительная наплавка носовой нижней части способствует увеличению времени на истирание. Усиление лемеха ребрами 2 в определенной степени снизит склонность к изгибу носка, но будет способствовать залипанию в случае обработки почвы с особенно большим содержанием глины, что отрицательно скажется на тяговом сопротивлении.

Плужный лемех способствующий – снижению тягового сопротивления и износа лезвия (рисунок 17). Особенностью конструкции является лезвие, на котором имеются параллельные прерывистые полосы 1 – наплавленные из твердосплавного материала и расположенные по кривой, описываемой уравнением $Y = X^2 \operatorname{tg} \gamma / L \cos \gamma$. При работе лемеха ненаплавленные участки 2 изнашиваются больше. В результате лезвие принимает серповидную форму с образованием зубьев, что способствует самозатачиванию лемеха. В этом случае самозатачиванию будут способствовать наплавленные твердыми сплавами участки, профиль же лезвия не окажет влияния на эффект самозатачивания. Почва между зубьями разрушается менее энергоемким скалыванием, уменьшая тяговое сопротивление. Расположенные наплавленные участки 1 по кривой, характеризующей траекторию движения частиц почвы по контактирующей поверхности лемеха, приводит только к лобовому сопротивлению лобовое сопротивление только передних граней этих полос. При этом их боковые параллельны направлению перемещению почвы и не оказывают существенного сопротивления. Это уменьшает площадь лобового контакта почвы с гранями наплавленных участков 1 и уменьшает сгуживание почвы перед ними, снижая тяговое сопротивление лемеха. Уменьшение площади контакта «почва – деталь», и соответствующая траектория наплавленных областей снижают интенсивность износа лемеха. При такой работе лемеха достигается одинаковый износ по толщине всех полос 1, в результате чего изделие выбраковывается одновременно с полностью изношенными наплавленными полосами 2, что экономически целесообразно и увеличивает наработку до предельного состояния.

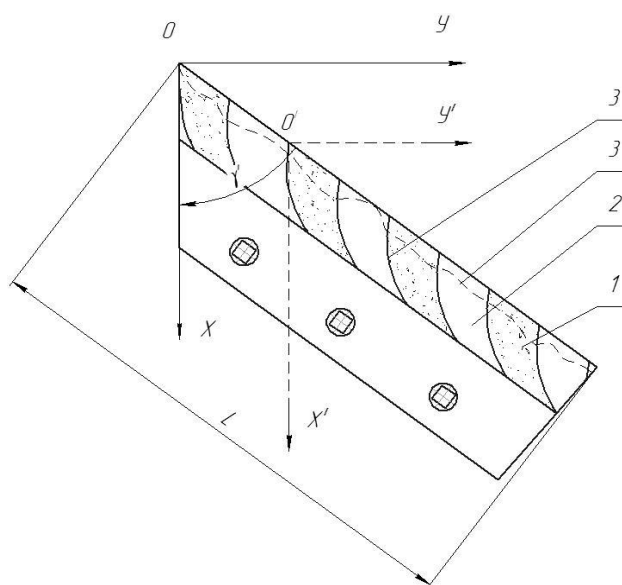


Рисунок 17 – Плужный лемех: 1 – наплавка из твердосплавного материала; 2 – зоны металла без наплавки; 3 – рельеф лезвия после некоторой эксплуатации; 4 – кривая описываемая уравнением движения частиц почвы

При такой параллельной наплавке ненаплавленные полосы 2 лезвия расположатся также по траектории движения частиц почвы. Это приводит к симметричному износу полос 2 и к образованию симметричной конфигурации зубьев, в результате чего достигается равномерное самозатачивание лемеха.

Зубчатый профиль лезвия будет отрицательно сказываться при вспашке полей с пожнивными остатками и увеличенной засоренностью, так как зубья способствуют их захвату и в этом случае имеет место забивание режущей части. Это приведет к увеличению тягового сопротивления пахотного агрегата и нарушению агротехники обработки почвы, то есть вспаханная площадь не будет отвечать установленным агротехническим нормативам. Авторы рассматривают элемент выбраковки только в зависимости от износа лемеха, оставляя без внимания другие дефекты, более влияющие на предельное состояние лемеха. Наплавка сложного профиля твердыми сплавами в значительной степени усложнит технологию изготовления лемеха.

Лемех плуга (рисунок 18) трапециевидной, либо долотообразной формы, имеющий защитные элементы, расположенные на рабочих поверхностях, которые выполнены в виде плоских вставок из сплавов высокой твердости или

наплавленных слоев из износостойкого материала. Они размещены в областях наиболее подверженных изнашиванию (носок и лезвие) и выполнены в виде пластин выпуклой формы (прямоугольной или трапециевидной). Пластины закреплены с вылетом над основой лемеха пайкой, сваркой, плазменной или индукционной наплавкой, допустимо применение клеевых соединений.

Толщина защитных элементов вне заточки в носовой части составляет 0,2...0,5, а в лезвийной части 0,1...0,25 от толщины основной части лемеха при ширине вставок или наплавленных слоев 0,1...0,3 от ширины лемеха в соответствующем сечении, а угол заточки его лезвийной части составляет 10...20° при толщине заостренной части 1,5...2,5 мм, а у носка 20...30° при той же толщине заостренной части. Пластины не выступают за обрез лезвийной части.

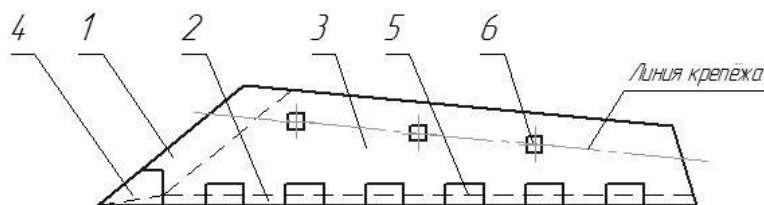


Рисунок 18 – Лемех плуга: 1 – носовая часть; 2 – лезвие; 3 – тело лемеха; 4 – носок; 5 – защитные пластины; 6 – крепежные отверстия

Защитные твердосплавные элементы наряду с положительными моментами придают лемеху и отрицательные стороны: сложность технологии изготовления, дороговизна твердых сплавов, высокая вероятность скола (удаления) с поверхности даже при незначительных препятствиях, усложнение проведения последующих восстановительных операций, возрастание склонности к залипанию. Отмеченные отрицательные стороны серьезно сдерживают применение такой конструкции.

Другой разновидностью конструкции лемехов применением твердых элементов является конструкция, когда на рабочей поверхности режущего элемента (лезвия) лемеха 1 с его тыльной стороны установлены керамические вставки (накладки) 2, 3 прямоугольной, трапециевидной или иной формы (рисунок 19). Выделенный защитный керамический элемент 3 на передней части (острие) лемеха 1 имеет специальную заточку и особое крепление в теле лемеха

1. Его размеры максимальны, толщина, вылет и геометрия могут отличаться от параметров других защитных элементов. Зоны размещения этого покрытия на лемехе очерчены пунктирными линиями 4. Керамические вставки 2, 3 имеют толщину порядка 3...10 мм, ширину 10...40 мм и среднюю длину 25...70 мм, для элемента 3 в носовой части лемеха размеры, как правило, наибольшие, в данном случае 8x40x70. При этом расстояние между защитными элементами вдоль лезвия лемеха может составлять от 5 до 30 мм и более. Расположение и геометрические размеры керамических пластин или накладок могут различаться в зависимости от условий износа.

Износ этих частей зависит от траектории движения частиц обрабатываемой почвы и сравнительно мал при указанных соотношениях ширины и длины защитных элементов.

В зависимости от условий работы плужного лемеха должны определяться, соответственно, геометрические параметры и место установки вставок или накладок в зоне максимального износа. Защитные элементы 2, 3 могут монтироваться в теле лемеха 1 в пазах глубиной, примерно равной или меньшей толщины вставок, и шириной как с применением клеев, так и механически с использованием, например, болтовых соединений, схемы ласточкиного хвоста и др. В области 4 лемеха, покрытие может быть нанесено плазменным напылением керамических слоев, в частности, двуокиси алюминия толщиной 0,3...1 мм. Частицы почвенного слоя движутся преимущественно вдоль длинной стороны лемеха 1. По этим направлениям установлены вставки 3...6 из твердых составляющих, обладающих в 3...10 раз более высокими показателями противоабразивного изнашивания, чем основной металл. При работе лемеха значительную часть пути слои почвы контактируют с твердой поверхностью вставок 3...5. Эта часть пути может составлять от 10 до 60% для различных траекторий движения, определяемых составом почвы и эксплуатационными показателями пахотного агрегата. Для предложенного устройства важную роль играет и вылет защитных элементов за геометрические границы стальной поверхности лемеха 1. В большинстве случаев он может быть нулевым или иметь незначительную величину 0...5 мм.

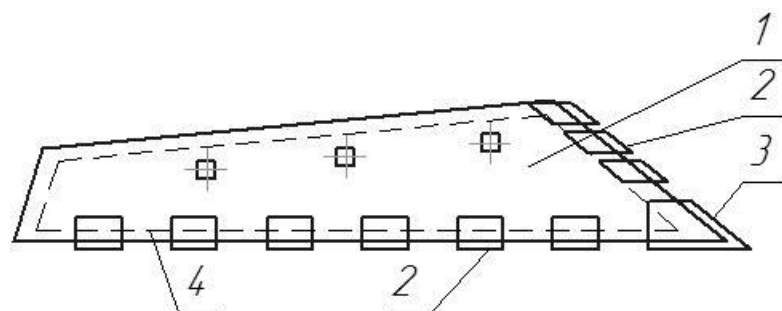


Рисунок 19 – Плужный лемех: 1 – тело лемеха; 2, 3 – защитные пластины; 4 – область нанесения защитного покрытия

Недостатки такой конструкции будут теми же, что и в описанной выше. Кроме этого неизбежно возрастание лобового сопротивления из-за наличия керамических элементов на полевом обрезе.

Плужный лемех (рисунок 20), на тыльной стороне полевого обреза, которого, выполнена твердосплавная наплавка, ее боковины параллельны полевому обрезу. Наплавка имеет форму параллелограмма, основания которого параллельны режущей части основы и ширина их соответствует $(0,07...0,13)L$, при этом длина боковин (рисунок 20, фиг. 1) наплавки ограничена с одной стороны лезвием режущей части, а с другой - нижним торцом башмака стойки плужного корпуса, кроме того толщина наплавки составляет $1,5...2,5$ мм.

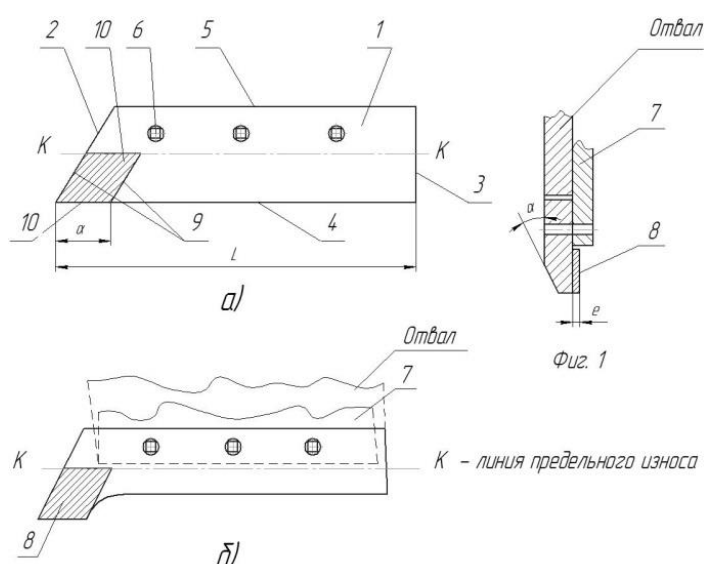


Рисунок 20 – Плужный лемех: а) трапециевидный; б) долотообразный; 1 – тело лемеха; 2, 3 – соответственно полевой и бороздной обрезы; 4 – лезвие; 5 – спинка; 6 – крепежные отверстия; 7 – башмак; 8 – твердосплавная наплавка; 9 - боковины 10 – основание

Величина угла заточки режущей части равна $8...12^\circ$. Наплавка твердым сплавом может производиться как на трапециевидный, так и на долотообразный лемеха. Такое упрочнение тыльной стороны вряд ли обеспечит существенное повышение ресурса изделия, так как не учтено изнашивание, приводящее к образованию лучевидной формы износа с овалообразным профилем в области носка, который часто определяет работоспособность детали. Конструкция может с успехом применяться при вспашке почв при наличии в них каменистых включений.

Лемех плуга (рисунок 21), обеспечивающий увеличение прочности, снижение интенсивности изнашивания и уменьшение склонности к образованию лучевидного износа. Такая эффективность достигается путем приваривания к корпусу лемеха долота, выполненного из материала повышенной твердости HRC 42...50, с последующим наплавочным армированием области сварки. Армирование осуществляется навариванием валиков перпендикулярно сварному шву с расстоянием между ними 30...40 мм.

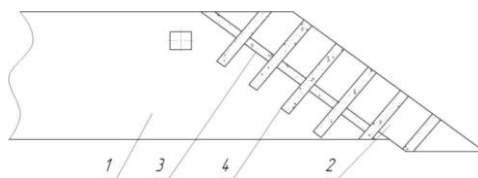


Рисунок 21 - Лемех плуга для отвальной вспашки: 1 – рабочая поверхность; 2 – долото; 3 – сварной шов; 4 – армирующие валики

Осуществление такой упрочняющей обработки позволит повысить сопротивляемость области носка к абразивному изнашиванию, где наиболее вероятно образование лучевидного износа. Высокая твердость стали для долота увеличит стойкость к абразивному изнашиванию области полевого обреза и нижней части носка.

Конструкция способствует повышению наработки на отказ особенно на супесях, на суглиниках эффект по ресурсу несколько подает. Отсутствие запаса металла с тыльной стороны, снижает ремонтпригодность детали.

Значительный практический интерес представляют составные долотообразные лемеха со сменным долотом (рисунок 22).

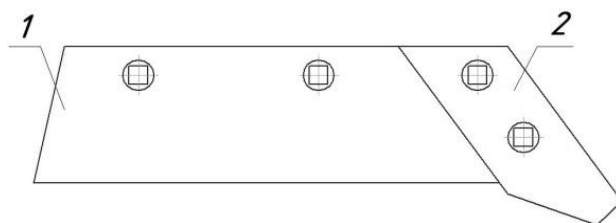


Рисунок 22 - Составной долотообразный лемех со сменным долотом: 1 - корпус лемеха с лезвием; 2 - сменное долото

Основным достоинством лемеха со сменным долотом является то, что он позволяет более эффективно использовать металл корпуса лемеха с лезвием. Так как интенсивность изнашивания носка значительно превышает интенсивность изнашивания лезвия, за срок службы одного лезвия может быть установлено два или более лезвия. Кроме того, при изгибе или изломе носка необходимо заменить один носок, а не весь лемех полностью. С технологической точки зрения изготовление лемехов с таким конструктивным решением также упрощается, хотя появляется дополнительная операция – сборка. Немаловажно и то, что имеется возможность изменения формы долота без каких-либо существенных технологических изменений на производстве. Лемех со сменным долотом фирмы «Lemken» (рисунок 23) состоит из трапециевидного лемеха 1 и долота 2. Лемеха и долото могут быть наплавленными и без наплавки. Лемех и долото изготовлены из стали типа 35Г и термообработаны на твердость 51 HRC. Толщина лемеха по спинке 10 мм. Лезвие лемеха не заточено, а вальцовано и имеет в исходном состоянии толщину режущей кромки 3,0...3,5 мм. Максимальная толщина долота составляет 16 мм. Угол заточки у долота - 25 у лезвия в зоне пятки - 4°.

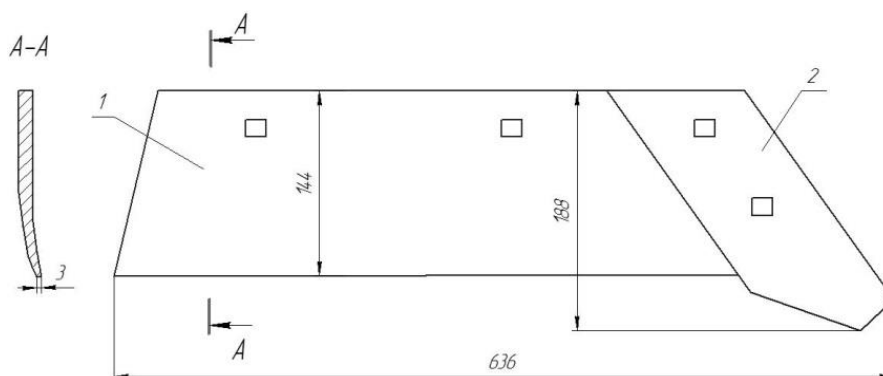


Рисунок 23 - Лемех со сменным долотом фирмы «Lemken»
Увеличенный угол заточки у долота, и его значительная толщина по

сравнению с лемехом обеспечивают ему высокую заглубляемость и ресурс на суглинистой и супесчаной почве до 20 га. Не большой угол заточки у лемеха обеспечивает значительный износ его по ширине (до 30 мм) при сохранении достаточной остроты лезвия. За срок службы лемеха долото заменяется 1...2 раза. Таким образом, ресурс долота на суглинистой и супесчаной почве составляет в среднем 20 га, а лемеха до 30 га.

Недостатками их является некоторое снижение технологичности при изготовлении за счет дополнительной механической обработки поверхностей соединения корпуса лемеха и долота, а также необходимость изменения конструкции башмака и стойки серийного плуга.

Идея съемного долота получила дальнейшее развитие в конструкции лемеха с накладным долотом (рисунок 24).

Составной лемех включает трапецевидную часть 1 и накладное обратное долото 2, изготавливаемые из полосового проката.

Лемех технологичен, прост в изготовлении и широко применяется для обработки каменистых почв в зарубежном сельхозмашиностроении (пример, фирмы «Huard», «Overu», «Kverneland» «Lemken»).

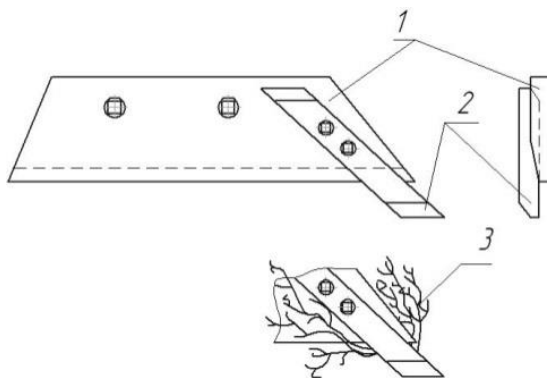


Рисунок 24 - Конструкция лемеха с накладным долотом: 1 - лемех; 2 - обратное долото; 3 - растительные остатки

Составной лемех фирмы «Huard» (Франция) имеет долотообразный остов и накладное долото (рисунок 25). Лемех и долото обработаны на твердость 50 HRC. Долото крепится к корпусу тремя болтами, из них два верхних служат также для крепления лемеха. Лезвие не заточено и имеет в исходном состоянии

толщину режущей кромки 4...5 мм. Характерной особенностью лемеха «Huard» является переменная величина угла резания, составляющая в зоне полевого обреза 38...40, а в зоне пятки – 18. Это достигается за счет пространственной кривизны лемеха, получаемой кузнечным способом.

Увеличенный угол резания в зоне носка (40°) в сочетании с большим вылетом долота (65 мм) обеспечивают достаточную заглабляемую способность при вспашке твердых и задернелых почв. Уменьшенный угол резания на остове лемеха позволяет заострять лезвие по мере его износа, повышая тем самым его конструкционную износостойкость, и снижая тяговое сопротивление.

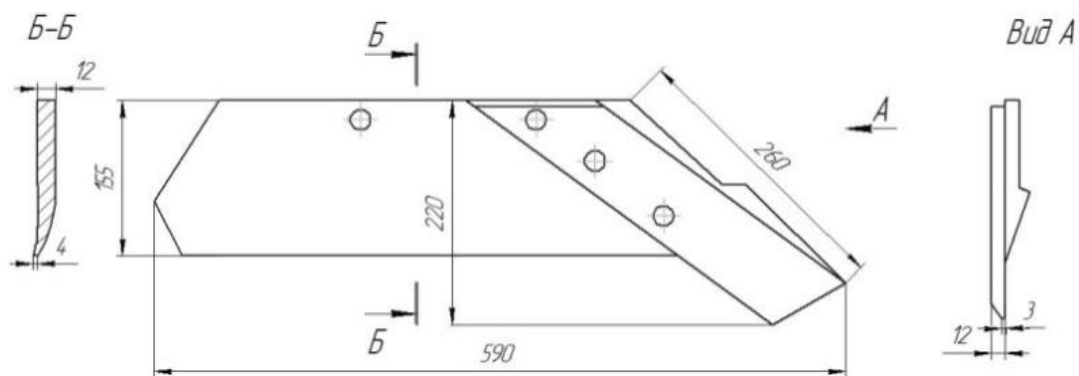


Рисунок 25 - Лемех с накладным долотом фирмы «Huard»

Лемех норвежской фирмы «Kverneland» состоит из остова с лезвием, полученного кузнечным способом, и накладного оборотного долота, которое крепится к корпусу плуга двумя болтами (рисунок 26). После предельного износа долото снимают с плуга, разворачивают на 180° и устанавливают вновь, восстанавливая тем самым работоспособность лемеха. Лемех имеет переменный угол резания по длине, при этом угол наклона лезвия к дну борозды в носовой части на 10... 12° превышает аналогичный параметр в средней части лемеха и на пятке.

Как упоминалось ранее, переменный угол резания, достигаемый пространственным искривлением лицевой плоскости лемеха, позволяет существенно улучшить его функциональные качества за счет сочетания высокой заглабляющей способности носка и пониженного тягового сопротивления, обусловленного получаемой в процессе эксплуатации остротой лезвия. Оба лемеха

- «Huard» и «Kverneland» - предназначены для обработки твердых тяжелых и каменистых почв.

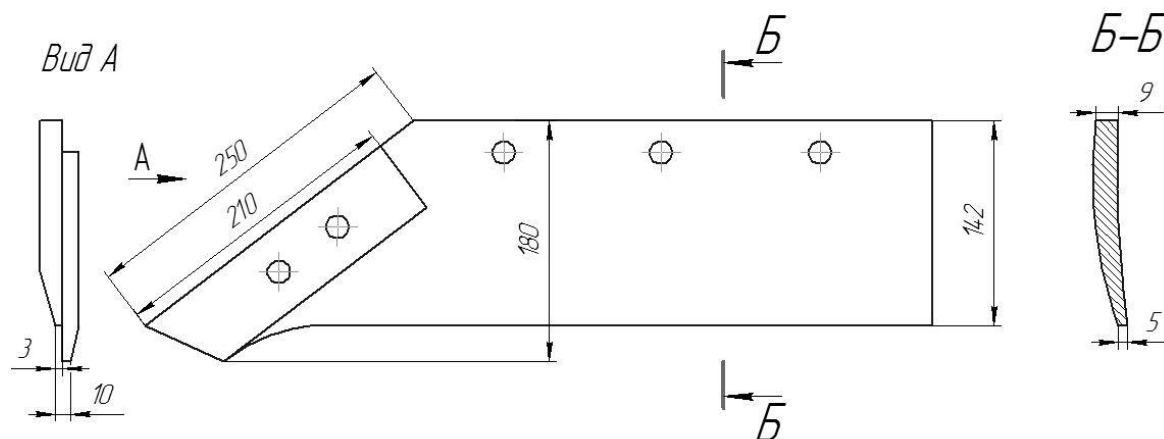


Рисунок 26 - Лемех с накладным обратным долотом фирмы «Kverneland»

Наиболее существенным недостатком лемехов с накладным долотом является повышенное, по сравнению с гладкими лемехами, тяговое сопротивление и, как следствие, повышенный расход горючего 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, чем нарушаются агротехнические требования к вспаханной площади.

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 трапециевидного лемеха. Эта конструкция не получила шитого распространения из-за сложности и высокой стоимости, связанной с необходимостью механической обработки всех подвижных контактных поверхностей. Кроме того, при эксплуатации лемех этой конструкции также происходит захват и удержание растительных остатков, что приводит к повышению тягового сопротивления и сни-

жению устойчивости хода плуга по глубине.

Сопоставляя показатели удельной (на единицу площади лицевой поверхности) массы лемеха отметим, что наименьшую ($6,2...6,3 \text{ кг/см}^2 - (\text{КГ}^3)$) имеют отечественные лемеха П-702 и ПНЧС, а наибольшую ($7,3...9,03 \text{ кг/см}^2 - (\text{КГ}^3)$) - лемеха зарубежных фирм. Таким образом, достаточная прочность лемеха достигается за счет соответствующего объема металла в наиболее нагруженной его носовой части в наиболее нагруженной его носовой части. Завершая сравнительный анализ конструкций лемехов, отметим, что требованиям по простоте конструкции, функциональной надежности, технологичности, эксплуатационной экономичности и универсальности наиболее полно отвечают цельные долотообразные лемеха, изготовленные из полосового или периодического проката.

Лемех плуга (рисунок 27), содержащий основную, лезвийную и носовую части, отличающийся тем, что в носовой части лемеха установлен наконечник из износостойкого материала, состоящий из расположенных вдоль общей оси конусообразного элемента и крепежной вилки, охватывающей носовую часть лемеха, причем угол наклона оси наконечника к линии лезвийной части составляет $20...80^\circ$, а угол при вершине конусообразного элемента наконечника находится в диапазоне $40...80^\circ$.

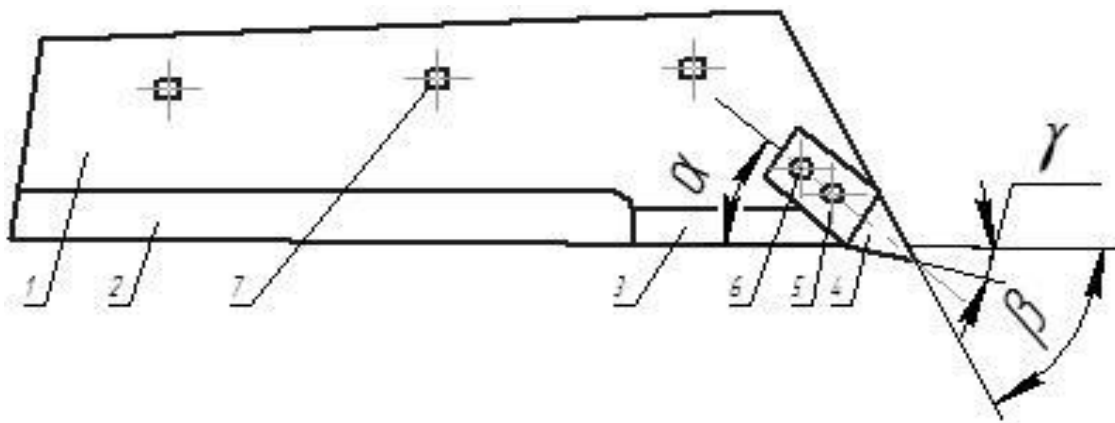


Рисунок 27 – Лемех плуга: 1, 2, 3 – основная, лезвийная и носовая части соответственно; 4 – конусообразный элемент; 5 – крепежная вилка; 6 – болт; 7 – отверстия

Отличительной особенностью, которого является: наконечник выполнен из легированной износостойкой стали X 12 или X 12 МФ; крепежная вилка наконеч-

ника установлена на носовой части лемеха с использованием сварного и/или болтового соединения; наконечник выполнен с возможностью разъемного соединения хвостовой части крепежной вилки и конусообразного элемента; по оси конусообразного элемента установлен цилиндрический стержень из твердого сплава ВК диаметром 4...6 мм; основная часть лемеха выполнена по трапециевидной или долотообразной схеме; угол заточки его лезвийной части составляет 8...10°, а носовой части 25...30° при толщине заостренных частей 1,5...2,5 мм.

Решаемой задачей полезной модели является создание современного, надежного и эффективного почвообрабатывающего орудия, обладающего высокими ресурсом и износостойкостью элементов лемеха в различных условиях эксплуатации, в том числе, на тяжелых глинистых, суглинистых и песчаных почвах, а также в условиях высокой влажности почвы и при значительной глубине вспашки. Дополнительной, к указанной, является задача обеспечения равностойкости лемеха при одинаковой долговечности его носовой и лезвийной частей, способствующей снижению общих затрат на обработку почвы.

Указанная задача решается тем, что в лемехе плуга, содержащем основную, лезвийную и носовую части, согласно полезной модели, в носовой части лемеха установлен наконечник из износостойкого материала, состоящий из расположенных вдоль общей оси конусообразного элемента и крепежной вилки, охватывающей носовую часть лемеха, причем угол наклона оси наконечника к линии лезвийной части составляет 20...80°, а угол при вершине конусообразного элемента наконечника находится в диапазоне 40...80°. Кроме того, наконечник лемеха может быть выполнен из легированной износостойкой стали X12 или X12МФ, а крепежная вилка наконечника может быть установлена на носовой части лемеха с использованием сварного и/или болтового соединения. Наконечник может быть выполнен с возможностью разъемного соединения хвостовой части крепежной вилки и конусообразного элемента, а по оси конусообразного элемента может быть установлен цилиндрический стержень из твердого сплава ВК диаметром 4...6 мм. Основная часть лемеха плуга может быть выполнена по трапециевидной или долотообразной схеме, а угол заточки

его лезвийной части может составлять $8...10^\circ$ и носовой части $25...30^\circ$ при толщине заостренных частей $1,5...2,5$ мм.

Угол наклона оси наконечника к линии лезвийной части лемеха нецелесообразно уменьшать менее 20° из соображений прочности конусообразного элемента с минимально возможным углом 40° при его вершине. С другой стороны, превышение этого угла более 80° также нецелесообразно, но по причине значительного увеличения лобового сечения наконечника и, следовательно, нагрузки на носовую часть лемеха при вспашке.

Уменьшение угла при вершине конусообразного элемента наконечника менее 40° , как было указано, лимитируется его прочностными характеристиками, а его увеличение более 80° связано с ухудшением условий заглабления лемеха в почвенный слой.

Выполнение наконечника лемеха из металлокерамики, легированных или углеродосодержащих сплавов с низким коэффициентом трения позволяет достичь равностойкости элементов лемеха при равной долговечности носовой и лезвийной частей. Прочность наконечника зависит также от вида и способа его крепления к телу лемеха, при этом наконечник может быть сборным и может иметь центральный стержень из твердого сплава, обеспечивающий самозатачивание наконечника.

Оптимальный диапазон углов заточки лезвийной части лемеха для разных типов тяжелых и среднетяжелых глинистых, суглинистых или супесчаных грунтов составляет $8...10^\circ$ и носовой части $25...30^\circ$ при толщине заостренных частей $1,5...2,5$ мм.

Применение для наконечника металлокерамики, легированных или углеродосодержащих сплавов с низким коэффициентом трения обеспечат дополнительное упрочнение носовой части предложенного лемеха. При работе такого лемеха значительный разрыхляющий эффект слоев почвы создает конусовидная поверхность наконечника, что и обеспечивает резкое снижение износа лезвийной части и повышение ресурса лемеха данной конструкции. Предложенный лемех предназначен для вспашки всех типов почв, возможно, кроме каме-

нистых. Он изготавливается из листовой стали 40ХС или 40Х и устанавливается на плугах общего назначения с шириной захвата корпуса 35 см. Ширина лемеха изменяется от 140 до 120 мм. Для увеличения прочности и износостойкости производится дополнительная закалка его до HRC 40-45.

Интенсивность изнашивания носовой и лезвийной частей предложенного лемеха по сравнению с лемехами с наплавкой уменьшилась примерно в 3,5 раза, при этом интенсивность изнашивания носовой и лезвийной частей лемеха уравниваются, обеспечивая равностойкость всего лемеха. В результате внедрения лемехов машинных плугов предложенной конструкции снижаются стоимость обработки сельскохозяйственных площадей и повышается производительность труда при сравнительно невысоких капитальных затратах.

Лемех (рисунок 28) имеет режущую кромку, которая выполнена из трех участков. Передний и задний участки выполнены криволинейными, а средний - прямолинейным и расположен под углом к спинке лемеха. Передний и задний участки выполнены с переменной толщиной лезвия.

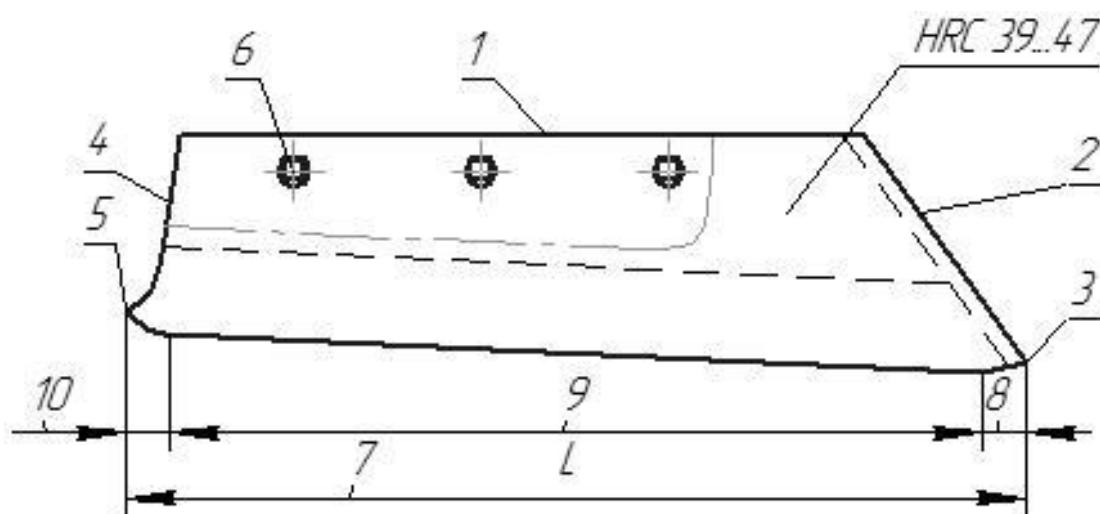


Рисунок 28 – Плужный лемех: 1 – спинка; 2 – полевой обрез; 3 – нос; 4 – бороздной обрез 5 – пятка; 6 – крепёжное отверстие; 7 – режущая кромка; 8, 9, 10 – передний, средний и задний участки режущей кромки лезвия соответственно

Способ изготовления лемеха позволяет использовать стандартный листовой или полосовой прокат постоянной толщины. При этом осуществляют рас-

крой материала на заготовки, пробивку и зенкерование крепежных отверстий, местный нагрев заготовки в зоне формирования лезвия и полевого обреза, прокатку лезвия, гибку профиля лемеха и конечную термообработку лемеха с использованием ковочного тепла. Такое конструктивное выполнение и технология обеспечат повышение надежности лемеха в эксплуатации, снижение себестоимости лемеха и упрощение технологии его изготовления.

Технической задачей настоящего изобретения является повышение надежности лемеха в эксплуатации, снижение себестоимости лемеха и упрощение технологии его изготовления.

Поставленная задача достигается тем, что в лемехе режущая кромка выполнена из переднего, среднего и заднего участков, причем передний и задний участки выполнены криволинейными с переменной толщиной лезвия, а средний участок, длина которого составляет $0,7...0,85$ от общей длины режущей кромки лезвия, выполнен прямолинейным, и расположен под углом к спинке, причем высота передней части среднего участка больше высоты задней части среднего участка, бороздной обрез выполнен по кривой, при этом носок расположен выше пятки, а режущая кромка лезвия передней части выполнена в виде половины дуги сегмента окружности с радиусом, равным $0,05...0,15$ от общей длины режущей кромки, и высотой сегмента $0,1...0,15$ от радиуса окружности, а толщина лезвия переднего и заднего участков у носка и пятки имеет $0,3...0,4$ от толщины спинки и $0,10...0,2$ от толщины спинки в местах перехода переднего и заднего участков в средний участок режущей кромки. Длина режущей кромки переднего участка больше длины режущей кромки заднего участка.

Лемех содержит спинку 1, полевого обреза 2, носок 3, бороздной обреза 4, пятку 5, крепежные отверстия 6. Режущая кромка 7 лезвия выполнена из трех участков. Передний 8 участок выполнен в виде половины дуги сегмента окружности с радиусом, равным $0,05...0,15$ от общей длины режущей кромки и высотой сегмента $0,1...0,15$ от радиуса окружности. Средний участок 9 режущей кромки выполнен прямолинейным, длина среднего участка составляет $0,7...0,85$ от общей длины режущей кромки лезвия. Средний участок 9 расположен под

углом к спинке, причем высота передней части среднего участка больше высоты задней части среднего участка. Толщина переднего 8 и заднего 10 участков режущей кромки лезвия выполнена переменной по толщине. Так толщина лезвия у носка 3 и пятки 5 составляет 0,3...0,4 от толщины спинки и уменьшается до 0,10... 0,20 от толщины спинки в местах перехода переднего 8 и заднего 10 участков в средний 9 участок. Бороздной обрез 4 выполнен по кривой. В лемехе носок 3 находится выше пятки 5. Задний 10 участок режущей кромки лезвия также выполнен по кривой. Длина режущей кромки переднего участка 8 больше длины режущей кромки заднего участка 10.

Предложенный способ производства лемеха обеспечивает сокращение на 50...70% затрат на приобретение дорогостоящего специального проката, т.к. позволяет использовать более дешевый стандартный листовой прокат постоянной толщины. Способ формообразования режущей кромки лезвия путем производственного универсального кузнечно-прессового оборудования повышает производительность производства лемехов.

Таким образом, предложенная геометрия лемеха повышает его эксплуатационную надежность, а способ его изготовления значительно сокращает затраты на производство лемехов, так как используется более дешевый прокат и универсальное оборудование, ликвидируется операция со снятием стружки при формировании режущей кромки лемеха.

Изготовлена промышленная партия новых лемехов и проведены производственные испытания в полевых условиях Подмосковья, показавшие положительные результаты.

Лемех, содержащий полевой и бороздной обреза, спинку и режущую кромку лезвия, носок, пятку и крепежные отверстия, отличающийся тем, что режущая кромка выполнена из переднего, среднего и заднего участков, передний и задний участки выполнены криволинейными с переменной толщиной лезвия, а средний участок, длина которого составляет 0,7...0,85 длины режущей кромки лезвия, выполнен прямолинейным и расположен под углом к спинке, причем высота передней части среднего участка больше высоты задней части

среднего участка, бороздной обрез выполнен по кривой, при этом носок расположен выше пятки, а длина режущей кромки переднего участка больше длины режущей кромки заднего участка.

Предложенный лемех отличается тем, что режущая кромка лезвия передней части выполнена в виде половины дуги сегмента окружности с радиусом, равным $0,05...0,15$ общей длины режущей кромки, и высотой сегмента $0,1...0,15$ радиуса окружности, а толщина лезвия переднего и заднего участков у носка и пятки имеет $0,3...0,4$ толщины спинки в местах перехода переднего и заднего участков в средний участок режущей кромки.

Таким образом конструкции плужных лемеха отличаются широким диапазоном, начиная от различной геометрии, до изделий с повышенными ресурсом и параметрами надежности.

1.6 Конструкция отвалов

Плужный отвал представляет собой изогнутую железную пластину, поставленную под углом к стене борозды. Он предназначен для подъема пласта почвы, подрезанного лемехом, деформирования его, оборачивания верхним слоем вниз и отваливания в борозду [45].

Отвалы классифицируются по следующим признакам:

1. Форма рабочей поверхности;
2. Конструктивное исполнение;

Каждый из этих признаков находится во взаимной связи между собой и имеет свое собственное деление (классификацию).

По форме отвалы разделяют на четыре основных группы: винтовые; полувинтовые; культурные, цилиндрические (цилиндровинтовой - американский) (рисунок 29) [46].

Известно, что при вспашке винтовыми отвалами пласт переворачивается по винтовой траектории [47]. Отвал переворачивает пласт достаточно медленно, т. к. в силу специфичности поверхности скорость перемещения пахотного агрегата относительно невелика. В этом случае превалирующим фактором яв-

ляется оборот пласта в сравнении с его крошением. Поэтому отвалы такой формы рекомендуется использовать при пахоте, не требующей большой глубины, когда предшественником являются многолетние травы и главным фактором вспашки – заделка сорняков и пожнивных остатков.

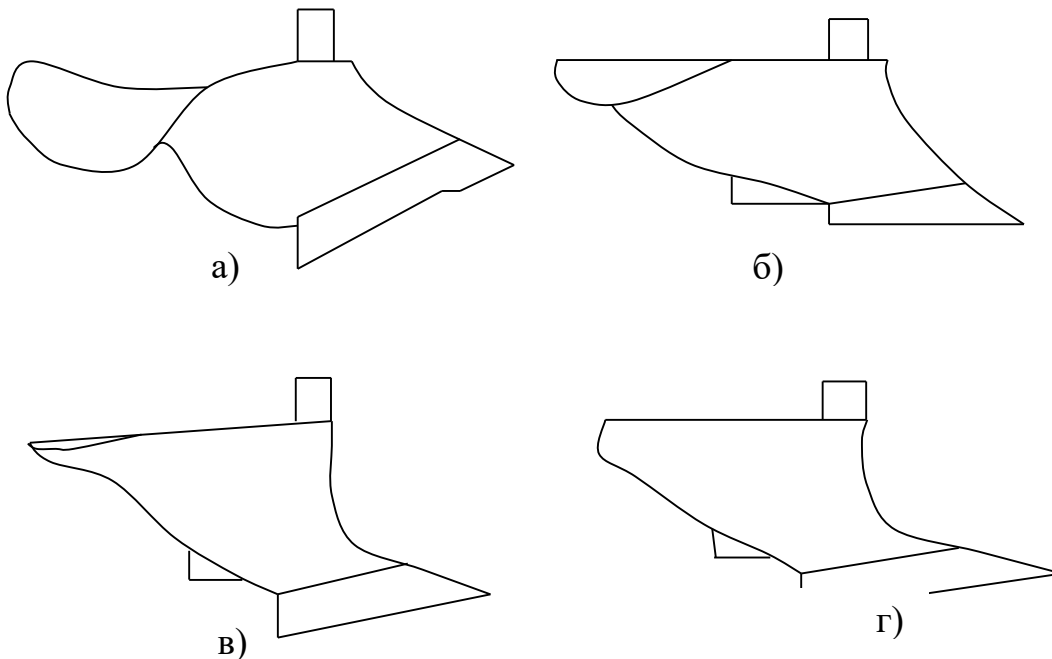


Рисунок 29 - Схема форм рабочих поверхностей отвалов: а - винтовой; б - полувинтовой; в - культурный; г – цилиндрический

В свою очередь винтовые поверхности по геометрической форме делятся на три типа: вогнутая, выпуклая, прямолинейная. Выбор формы поверхности основан на исключении или уменьшении залипания почвы и минимального расхода энергии на деформацию пласта, применительно к условиям вспашки.

Полувинтовые отвалы имеют хорошую оборачивающую способность пласта почвы, но крошение является недостаточным (хотя и лучшим чем у винтовых отвалов), из за геометрии поверхности (большой подворот крыла). Поэтому, их применяют для вспашки тяжелых, связных почв, а чтобы доваливать в борозду почвенный пласт ставят удлинитель-перо. Данные детали устанавливают на усиленных плугах общего назначения и кустарниково-болотных.

Рабочая поверхность у культурного отвала имеет крошащую грудь с ма-

лой кривизной (для уменьшения залипания) и образована так же как у цилиндрического, поэтому, по мере подъема пласта почвы по детали происходит лучшее крошение и возрастает оборачиваемость. Они получили наибольшее распространение и устанавливаются фактически на всех плугах общего назначения. Однако, по мнению некоторых авторов [48] оборачиваемость пласта при пахоте старопахотных почв недостаточная. В связи с этим на корпусах плугов предусматриваются предплужники.

Цилиндрические отвалы - это отвалы, у которых поверхность соответствует части цилиндра и вызывает сильное напряжение почвы, что способствует ее разрыхлению. В отличие от винтовой он поднимает пласт на себя и скручивает в косую трубку. Эти отвалы адаптированы для гребневой глубокой пахоты (зяблевая пахота). У данного типа отвала наиболее простая геометрическая поверхность.

Профиль цилиндровинтовых или «американских» отвалов разделен на две части: первая часть цилиндрическая, а верхняя часть – винтовая. Они представляют компромисс, между цилиндрической и винтовой поверхностями. Такая форма геометрии обеспечивает определенную универсализацию отвалов и делает их многоцелевыми.

По конструктивному исполнению:

В отечественном сельскохозяйственном машиностроении наибольшее распространение получило производство цельных отвалов, выполненных штамповкой либо прокаткой и подвергнутых цементации. В случае приобретения таким отвалом дефектов не совместимых с агротехническими требованиями необходима его замена, хотя большая часть площади рабочей поверхности остается работоспособной.

Поэтому, нашли применение отвалы, выполненные со сменной грудью, что позволяет значительно увеличить срок его службы. Однако в данном случае требуются изменения, в конструкции стойки в связи с дополнительным крепежом и возникает необходимость в обеспечении высокой точности изготовления стыка «грудь – остов отвала».

Так же известна конструкция отвала с упрочненной накладкой, совмещенной с лемехом и его носовой частью (рисунок 30). Такая конструкция, безусловно, обеспечивает повышение долговечности, но затруднительна в изготовлении, вследствие необходимости повышения точности стыков и наличия дополнительного крепежа. Предлагаемое исполнение имеет две схемы: схема, заключающаяся в том, что накладка изготовлена совместно с лемехом и частично закрывает часть площади груди отвала. В следующей схеме накладка являющаяся частью лемеха одновременно заменяет определенную (наиболее изнашиваемую) часть груди. Рассмотренная конструкция, повышая долговечность корпуса, усложняет его конструкцию.

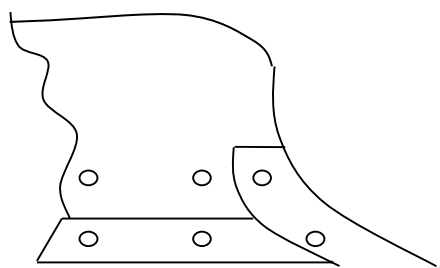


Рисунок 30 - Схема отвала с упрочненной накладкой, совмещенной с лемехом

Для вспашки почв повышенной изнашивающей способности в ряде случаев рекомендуется применять конструкцию отвала, выполненную из двух частей, крыла и груди неправильной геометрической формы (рисунок 31).

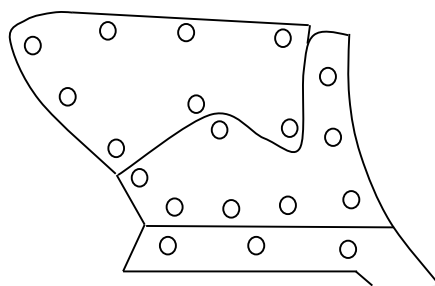


Рисунок 31 - Схема конструкции отвала

Анализ тенденций развития плугов показывает, что расширяется применение корпусов со щелевыми, полосовыми, пластинчатыми, прутковыми и другими несплошными отвалами (рисунок 4). Они имеют меньшую площадь рабо-

чих элементов, взаимодействующих с пластом, и более эффективно воздействуют на обрабатываемую почву.

Большинство известных корпусов типа щелевые, полосовые, пластинчатые выпускаются серийно фирмой Rabewerk (ФРГ), и имеют незначительную ширину щели между элементами отвала, и поэтому процесс вспашки почти не отличается от традиционного. Ограничения на размер свободного пространства между элементами отвалов сопровождаются стремлением не допускать прохождения в эти промежутки крупных комков (рисунок 32 в).

Однако при эксплуатации таких отвалов возникают определенные трудности, связанные с конструктивными недостатками. Так в определенной степени, утрачивается жесткость детали; возникают сложности с крепежом; имеет место низкая универсальность по отношению к различным типам почв; кроме того их изготовление связано с определенными технологическими трудностями. Возникают также проблемы при восстановлении.

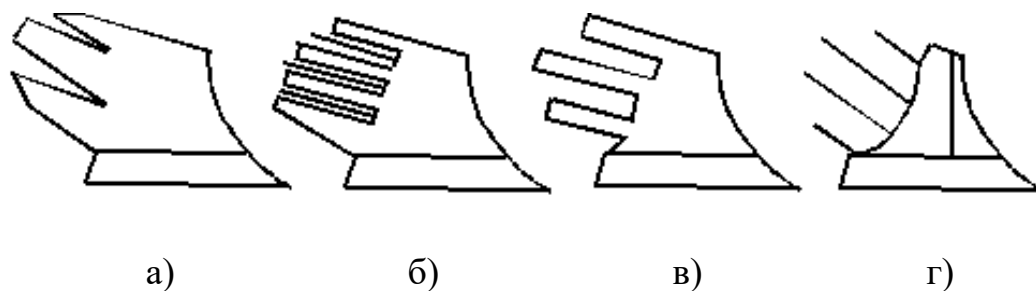


Рисунок 32 - Корпуса с различными отвальными поверхностями а - щелевой; б - полосовой с прутками; в - пластинчатый; г - прутковой

Чтобы достичь нужного качества обработки почвы применяются отвалы, с изменяемыми технологическими и геометрическими параметрами. Для лучшего крошения почвы применяются отвалы с дополнительными элементами, расположенными на рабочей поверхности.

На рисунке 33 а, б показаны наиболее характерные детали с рыхлящими элементами.

Наряду с отмеченными конструкциями так же известны следующие не

столь широко распространенные отвалы:

- активный отвал, жестко закреплен в двух шариковых опорах на комбинированном плуге. В процессе работы лемех подрезает почвенный пласт, который поступает на грудь отвала и, встречаясь с вращающимися ножами ротора, установленными за отвалом, режется на фракции;

- с установкой дополнительных режущих элементов флюгерного типа в зоне стыка лемеха и отвала (стыковой обрез), которые улучшают крошение на переуплотненных, пересушенных почвах;

- полосовой отвал с вибрирующими опорами, приводит к улучшению обработки почвы;

- с установкой на рабочей поверхности закрепленных дополнительных рыхлящих элементов в виде вращающихся дисков, которые способствуют рыхлению;

- с закрепленными на рабочей поверхности элементами способствующими крошению и препятствующими обороту пласта.

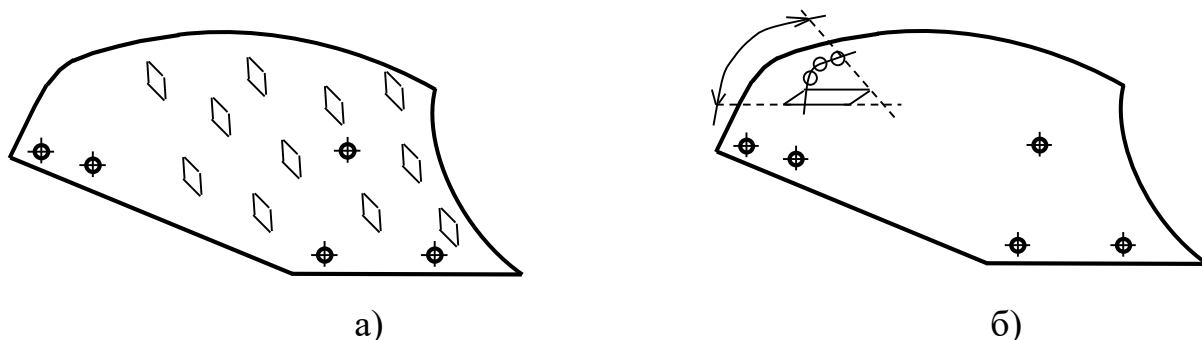


Рисунок 33 - Схема отвалов обеспечивающих повышенное крошение почвы (а-с рыхлящим элементом; б-с дополнительным ножом)

Основным недостатком подобных конструктивных исполнений является возрастание энергозатрат, выражающееся в увеличении тягового сопротивления. Немаловажным следует считать усложнение конструктивного исполнения и как следствие дополнительные технологические трудности при изготовлении.

В последние годы нашли применение ромбические корпуса «Losange» вышла фирма Kuhn-Huard (Франция) (рисунок 34). Они имеют выпуклый криволинейный полевой обрез, что дает слитную пашню, увеличение производи-

тельности вспашки за счет увеличения рабочей скорости на 11%.

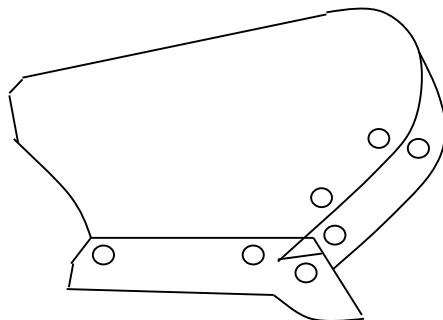


Рисунок 34 - Схема ромбического корпуса (Kuhn-Huard)

Следует, что общим признаком плужных корпусов различных ведущих фирм Eberhardt, Lemken, Overum, Niemeuer является – грудинка, крыло, удлинитель отвала.

В заключение параграфа рассмотрим основные элементы конструкции областей классического культурного отвала (рисунок 35) к ним относятся: крыло, верхний обрез, грудь, полевой обрез, носок, стыковой обрез, пятка, рабочая поверхность, бороздной обрез.

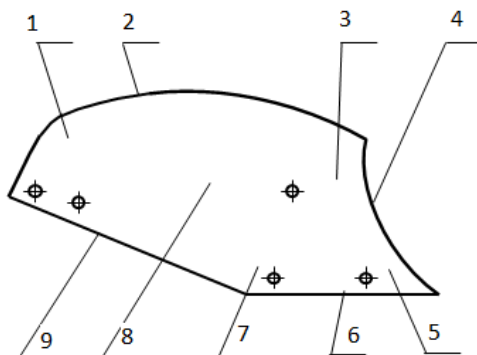


Рисунок 35 - Схема конструкции областей отвала 1-крыло; 2-верхний обрез; 3-грудь; 4-полевой обрез; 5-носок; 6-стыковой обрез; 7-пятка; 8-рабочая поверхность; 9-бороздной обрез.

Анализ известных источников показал, что отвалы плужных корпусов могут иметь различные конструкции в зависимости от их функционального назначения. Исследователями так же уделено внимание на повышение параметров надежности данных деталей применением различных способов упрочнения.

1.7 Дефекты деталей рабочих органов (лемеха и отвалы)

1.7.1 Дефекты плужных лемехов

1.7.1.1 Цельнометаллические лемеха отечественного производства

Как известно лемеха эксплуатируются в условиях интенсивного абразивного изнашивания, приводящего к следующим дефектам: 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) [49-55].

Из практики известны случаи, когда лемеха изготавливались из отбеленного чугуна, их разрушение происходило при проведении монтажных работ (крепеж).

В большинстве случаев, 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 37).

Количество отказов лемехов по этой причине согласно собственным исследованиям, составляет около 84 % от поступивших на реставрацию (таблица 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 [56].

Другим дефектом, сравнимым с вышеописанным, считается износ заглабляющей части 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 устойчи-

вость плуга, и возникает эффект выталкивания агрегата из земли. Кроме того, создаются значительные трудности с заглублением пахотного агрегата [57].

Износ полевого обреза встречается у 25% лемехов после снятия их с эксплуатации (таблица 1). Причины этого явления кроются в значительных давлениях почвы и высокой скорости скольжения абразивных частиц в этих областях.

Таблица 1 – Дефекты плужного лемеха








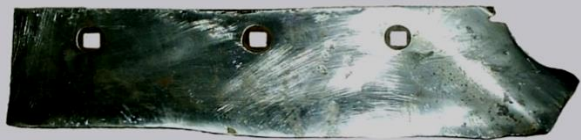
Наименование дефекта	Коэффициент повторяемости	Вид
Износ по ширине	5 %	
Износ заглубляющей части носка	30 %	
Образование лучевидного износа в области носка	84 %	
Сквозное протирание области носка	12 %	
Износ полевого обреза	25%	
Образование затылочной фаски	50 %	
Образование трещин	3 %	
Изгибы, скручивание, прогибы	8 %	
Разрушение	3 %	



Рисунок 37 – Лучевидный износ, осложненный сквозным протираем лемеха

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

Проведенный анализ показал, что лемехам присущ широкий диапазон дефектов: износ по ширине; износ заглубляющей части носка; лучевидный износ носка; сквозное протираение носка; образование затылочной фаски; трещины; изгибы; скручивание; прогибы; разрушение. Наиболее значимыми дефектами для работоспособности детали являются: лучевидный износ (84%) и износ заглубляющей части (30%). Дефекты, связанные с нарушением размерной стабильности малочисленны и носят случайный характер.

1.7.1.2 Составные лемеха импортного производства

Практический опыт использования лемехов зарубежных фирм Vogel, Lemken, Kverneland показал наработку до утраты ресурса от 25 до 45 га. Данные получены путем наблюдения в хозяйствах Брянской области: СПК «Красный Рог» - преобладают супесчаные почвы; ОАО «Новый путь» - преобладают суглинистые почвы. Поэтому имеет место такое расхождение в наработке на отказ.

Замечено, что интенсивность изнашивания и характер износов на различных участках рабочей поверхности лемеха неодинаковы как у отечественных [58] так и у импортных изделий. Между тем, имеют место и существенные различия в специфике износов различных участков лемехов. По-видимому, это связано с различием в конструкции. Отечественные лемеха поставляются, как

правило, цельнометаллическими, импортные – составными, когда долото крепится к остову.

Применительно к импортным лемехам наиболее специфичными являются износы режуще-лезвийной части, причем это характерно для изделий всех вышеуказанных фирм. Отдельного рассмотрения требуют износы долот вследствие их различных конструкций. Применяются оборотные долота – фирма Vogel и односторонние долота – фирма Lemken. Общим с точки зрения износов для долот всех фирм является полный износ режущей части.

В случае импортных лемехов лучевидный износ наблюдается у сменных долот, особенно это характерно для изделий фирмы Lemken (рисунок 38).



Рисунок 38 – Лучевидный износ долота фирмы Lemken

Как следует из рисунка 38 также наблюдается протирание в области полевого обреза.

Односторонние долота лемехов зарубежного производства также имеют такой дефект (рисунок 39). Однако он приобретает при пахоте на почвах с изнашивающей способностью более 150 г/га (супеси).



Рисунок 39 – Износ носка долота фирмы Lemken

Эксплуатация лемеха с износом носка свыше 60 мм согласно агротехническим условиям не допустима, поскольку заглублиение в почву затруднено, пахота неравномерна по глубине, увеличивается тяговое сопротивление, а, следовательно, и расход топлива и снижается производительность.

Однако, ряд исследователей [58] считает, что предельный износ носка лемеха не должен превышать 45 мм, так как уже при такой потере размера носка нарушается устойчивость движения плуга, а также агротехнические условия на пахоту [59].

Износ полевого обреза прослеживается у долот производства ряда зарубежных фирм (например детали компании Lemken) (рисунок 40).



Рисунок 40 – Износ полевого обреза долот производства фирмы Lemken

Износ пятки зафиксирован у 100 % лемехов импортного производства (рисунок 41). Это объясняется нахождением пятки у открытой стенки борозды, где усилие деформации почвы значительно меньше, чем у носка лемеха. В то же время величина износа пятки превышает такой же показатель по ширине лемеха за одинаковый период работы вследствие снижения жесткости данного участка и увеличение вибрации.



Рисунок 41 – Характерный износ режуще-лезвийной части импортных лемехов на примере лемеха фирмы Kwerneland

Износ лемеха импортного производства по ширине связан с абразивным изнашиванием его лезвия и изменением угла заточки (аналогично отечественным лемехам). Во время эксплуатации имеет место процесс самоорганизации изнашивания, что приводит к перезатачиванию лезвийной части.

Если износ по ширине отечественных лемехов при пахоте супесчаных и суглинистых почв не является критерием их предельного состояния, т.к. их наработка на отказ в основном определяется износами носовой части, то для всех лемехов импортного производства этот дефект определяет их ресурс. Нужно заметить, что достижение импортными лемехами предельного износа по ширине происходит за значительно большую наработку, чем у отечественных. Это обуславливается рядом факторов. Первый – ширина режущей части у импортных лемехов 50...60 мм, у отечественных – не более 35 мм. Второй – твердость этой области изделий импортного производства превышает твердость отечественных более чем в 2 раза. Третий – возможность периодической смены долота также способствует увеличению времени на истирание режущей части импортных лемехов.

Изнашивание лемеха по толщине в зависимости от скорости движения на песчаной почве исследовалось авторами [60]. Аналогичный процесс изучался и на суглинистых почвах [61]. В обоих случаях установлено, что наибольшему износу подвержена носовая часть лемеха, более чувствительная к изменению режима вспашки. Кроме того, в [62] доказан нелинейный характер изменения толщины лемеха от наработки, хотя все остальные геометрические параметры детали носили линейный характер.

Изменение толщины, как показателя износа, является основным критерием выбраковки как отечественных, так и импортных лемехов [63].

Применительно к импортным лемехам следует рассмотреть отдельно такие же износы для долот и непосредственно лемехов.

При длительной эксплуатации, когда наработка превышает 60...70 га, происходит такой износ по толщине долота, что наблюдается его изгиб, либо излом (рисунок 42).



Рисунок 42 – Изношенное долото фирмы Lemken с недопустимо малой толщиной (изгиб долота)

Подобных дефектов у долот производства Vogel за период наблюдений не замечено (рисунок 43). Отсутствие трещин и изгибов в этом случае связано с большей толщиной долота и сменой режущей части путем его оборота.



а)



б)

Рисунок 43 – Изношенное долото фирмы Vogel (а – рабочая поверхность; б – тыльная поверхность)

Таким образом, предельное состояние отечественных и зарубежных лемехов определяется различными видами дефектов, так, если ресурс лемехов российского производства регламентируется в основном износами носка, то такой же показатель у импортных деталей обуславливается износом режуще-лезвийной части. В связи с этим при разработке технологий восстановления импортных изделий необходимы совершенно иные подходы в сравнении с отечественными. Необходимо обратить внимание на то, что следует восстанавливать и долота лемехов ряда фирм производителей, например: фирмы Lemken.

1.7.1.3 Дефекты отвалов плужных корпусов

Хотя отвал является ответственной деталью и отличается огромными масштабами изготовления из-за относительно невысокой наработки до предельного состояния (не более 11 га при работе на супесчаных почвах с каменистыми включениями и около 37 га без них), исследований, посвященных повышению его долговечности пока недостаточно. Особенно этот вопрос остается открытым с точки зрения восстановления.

Известно, что при разработке технологий устранения того или иного несоответствия техническим требованиям, образовавшимся в процессе использования детали, проводится анализ дефектов и причин их появления. Нужно отметить немногочисленность исследований по данному вопросу применительно к отвалам [64], сводящихся к упрощенному подходу.

Как правило, дефектация ограничивается определением износов, связанных со сквозным протиранием нижней части груди и утратой геометрии полевого обреза. В тоже время, практический опыт показывает на наличие более широкого диапазона дефектов, приобретаемых отвалом. Кроме того, отсутствуют статистические данные по параметрам износов, в частности протирания. Поэтому необходимо провести работу, посвященную детальному изучению дефектов.

Исследованию подвергались отказавшие отвалы в количестве 216 штук, эксплуатировавшиеся в почвенных условиях Юго-Западного региона Российской Федерации (пески, супеси, суглинки) на примере Брянской области. Обследовались отвалы, использовавшиеся во всех 27 районах – по 8 единиц на каждый район. Полученные данные сведены в таблицу 2.



Из таблицы следует, что преобладающим пороком является наличие износа со сквозным протиранием. Вторым дефектом по количественному признаку из таблицы 1 - лучевидный износ. Часто образование такого вида нарушения геометрии рабочей поверхности сопровождается сквозным протиранием. Если лучевидная форма распространяется почти на всю длину отвала, то протирание характерно для нижней части груди (см. таблицу 2).

Появление износов различных геометрических форм износа связано, как отмечают известные исследователи [65], со специфичными условиями эксплуатации почвообрабатывающих орудий и, прежде всего, с наличием абразивной среды. Образование лучевидного износа сопряжено с использованием пахотных агрегатов на песчаных, супесчаных и легкосуглинистых почвах и аналогично образованию такого же вида дефекта у лемехов. На других типах почв, обладающих относительно невысокой изнашивающей способностью, такой вид износа в большинстве случаев отсутствует.

Столь быстрый износ детали до предельного состояния (нарушение формы поверхности) связан с использованием для изготовления отвалов сталей обыкновенного качества с невысокими, для условий пахоты, механическими свойствами и нарушением технологического процесса их производства. Другим фактором (особенно проявившимся в последние годы) можно считать повсеместное нарушение условий эксплуатации ввиду низкой квалификации трактористов-машинистов. В частности, отсутствие предохранительных устройств.

Потеря размеров полевым обрезом, как правило, имеет место при вспашке почв с малой изнашивающей способностью (средние и тяжелые суглинки) вследствие сравнительно высокой наработки отвала до потери им работоспособного состояния.

Таблица 2 – Дефекты отвалов плужных корпусов

Наименование дефекта	Коэффициент повторяемости	Изображение дефекта
Нарушение формы поверхности	0,07	
Износы		
со сквозным протираем	0,93	
полевого обреза	0,11	
Лучевидный		
с одним лучом	0,60	
с двумя лучами	0,14	
Нарушение целостности		
трещины	0,07	
изломы (разрушение)	0,17	

Появление трещин и изломов, в большинстве случаев, обуславливается наличием ударных силовых воздействий со стороны почвы из-за присутствия камней и других инородных предметов. Разрушение может также наступить ввиду значительного уменьшения толщины отвала и потери им достаточной конструкционной прочности.

Таким образом, в результате обследования отвалов, выяснилось, что дефекты этих деталей не ограничиваются только различными формами износов.

Особенно следует отметить наличие высокого процента отвалов с лучевидным износом, так как в известной литературе сведений о таком дефекте явно недостаточно. Данные факты необходимо учитывать при разработке технологических процессов возобновления их ресурса. Отмечается, отсутствие статистического анализа геометрических параметров износов различных форм и связи между этими параметрами.

2 Абразивное изнашивание и роль почв при изнашивании

Износ и защита от него – важнейшая проблема науки и техники в современном социуме, т.к. в странах с развитой промышленностью затраты, связанные с износом деталей, достигают десятков миллиардов долларов, причем половина из них связана с абразивным изнашиванием.

Абразивное изнашивание в той или иной степени имеет место фактически во всех технических системах. Наиболее ярко оно проявляется в механизмах, эксплуатирующихся в сельском хозяйстве, металлургии, строительстве, добывающих отраслях

Как уже указывалось, основной причиной потери работоспособности деталей рабочих органов плужных лемехов является абразивное изнашивание. В связи с этим авторы сочли целесообразным рассмотреть некоторые вопросы, относящиеся к абразивному изнашиванию.

2.1 Существующие представления о механизме абразивного изнашивания

Согласно ГОСТ 23.002 -78 абразивное изнашивание материала происходит в результате механического воздействия на него (резания или царапания) твердых частиц, находящихся в свободном или закрепленном состоянии. Между тем, абразивное изнашивание характеризуется как очень сложный процесс и, несмотря на многочисленные его исследования, до настоящего времени нет

четко сформулированных теоретических положений этого вопроса, а экспериментальные данные зачастую неполны и противоречивы.

Хотя в ГОСТе отмечается, что твердые частицы могут находиться в свободном или закрепленном состоянии, однако по результатам исследований [64] в роли абразивных частиц могут выступать: неподвижно закрепленные твердые зерна, входящие в контакт по касательной либо под небольшим углом атаки к поверхности детали; свободные частицы, находящиеся в зазоре сопряженных деталей; незакрепленные частицы, входящие в контакт с поверхностью детали при отсутствии контртела (абразивные частицы в почве при работе почвообрабатывающих машин); абразивные частицы, вовлекаемые в поток жидкостью или газом.

В этой связи авторы работы [65] различают следующие виды абразивного изнашивания: при трении о закрепленные абразивные частицы; при трении об абразивную прослойку; при трении в абразивной массе; ударно-абразивное; гидроабразивное; газоабразивное; в струе абразивных частиц.

Механизм абразивного изнашивания по мнению М.М. Хрущова и М.А. Бабичева заключается в микрорезании материала, сопровождающегося отделением стружки, и нанесении царапин с образованием пластически отесненных навалов. Навалы состоят из предразрушенного материала с большим количеством трещин, низкой прочностью и твердостью. Вновь наносимые царапины по имеющимся навалам вызывают их разрушение с отделением частиц металла, обуславливающим износ. В работе [67] подтверждается, что абразивная частица оставляет на поверхности детали выдавленную риску — царапину, при этом металл по сторонам царапины как бы уже предразрушен и, поэтому, легко снимается другими абразивными частицами.

По И.В. Крагельскому главная причина абразивного изнашивания заключается в многократном пластическом деформировании одних и тех же микрообъемов металла, которое вызывает их усталостное разрушение и отделение частиц от поверхностного слоя. Частицы, присутствующие в зоне трения, обычно очень прочны и могут либо свободно перемещаться, либо вдавливаются в один из элементов пары трения.

Вызывает сомнение заключение об усталостном разрушении. Следует предположить, что в этом случае имеет место значительный уровень остаточных напряжений от контактных давлений, приводящий к «отшелушиванию» поверхностного слоя. Кроме того, отмечается, что форма абразивных частиц, степень их закрепленности, механические свойства, соотношение механических свойств абразивных частиц и изнашиваемой поверхности и действующие нагрузки могут определять механизм изнашивания от упруго-пластического передеформирования до микрорезания.

Некоторые исследователи [68] видят механизм изнашивания рабочих органов почвообрабатывающих машин только в усталостном выкрашивании, считая, что в почве недостаточное количество частиц, имеющих остроугольную форму, чтобы происходило микрорезание в массовом масштабе. Такое заключение носит в определенной мере частный характер и относится к конкретной детали и к конкретному процессу.

В.Н.Виноградов систематизировал схемы внешнего силового воздействия абразива на рабочие поверхности деталей машин по характеру взаимодействия абразивной частицы с контактной поверхностью изнашивания, положив в основу такого взаимодействия виды трения (например, трение скольжения, трение качения). В механизме внешнесилового воздействия твердой абразивной частицы на поверхность изнашивания при скольжении выделяют два этапа: 1 - абразивная частица с твердостью и прочностью выше, чем у металла внедряется в поверхностный слой на какую-то глубину; 2 - абразивная частица совершает поступательное перемещение по поверхности изнашивания, осуществляя при этом сложное полудеформационное разрушение путем пластического деформирования, микрорезания и упругого оттеснения. Здесь же отмечается, что при абразивном изнашивании статическое нагружение усложнено динамическим характером приложения контактных нагрузок с переменной интенсивностью. Конечной фазой развития этих процессов является формирование и отделение продуктов изнашивания.

В исследованиях [69] утверждается, что процесс абразивного изнашива-

ния сопровождается как пластическим деформированием металла, так и снятием с него микро- и макростружек присутствующими в абразивной среде минеральными частицами с острыми гранями.

Некоторые авторы считают, что в почве могут иметь место оба приведенных выше механизма изнашивания, причем процессы нужно рассматривать как накладывающиеся один на другой. В этом случае исследования относятся исключительно к перемещению деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин в абразивной среде.

По мнению авторов [70] абразивные частицы имеют различную форму и ориентированы самым различным образом относительно сопряженной поверхности. Резать и снимать стружку могут не все частицы, часть из них пластически деформирует материал в зависимости от соотношения твердостей абразива и материала. Так, зерно выпуклой поверхностью или острым ребром может быть вдавлено в плоскую поверхность более твердого тела. Это объясняет факт износа металла абразивными частицами с твердостью, меньшей его твердости.

Б.И. Костецкий выделяет две формы проявления абразивного процесса: 1) с преобладанием механико-химического разрушения, сопровождающегося пластическим деформированием поверхности, ее окислением и последующим разрушением образующихся пленок; 2) с преобладанием механического разрушения поверхности металла (внедрение абразивных частиц, разрушение поверхностных объемов металла без отделения частиц основного металла или со снятием микростружки).

М.М. Тененбаум называет процесс абразивного изнашивания полидеформационным. По его мнению, он заключается в многократном искажении атомной решетки металла с одновременно происходящими упрочнением и разупрочнением, которое завершается разрушением.

Есть мнение, что всякое изнашивание является абразивным, поскольку продукты износа также выступают в роли абразивных частиц.

Таким образом, в настоящее время механизм абразивного изнашивания

не имеет единого объяснения и все еще носит дискуссионный характер. Однако в целом рассматриваются следующие схемы:

1. отделение стружки, царапание с образованием предразрушенных навалов и их последующее разрушение;

2. усталостное разрушение от контактного взаимодействия абразивных частиц с рабочими поверхностями при наличии процесса микрорезания;

3. внедрение абразивной частицы, создающей полудеформационное разрушение за счет пластического деформирования, микрорезания и упругого отсиснения;

4. полудеформационное изнашивание, обусловленное искажением кристаллической решетки под действием деформаций.

2.2 Факторы, влияющие на процесс абразивного износа

Для разработки мероприятий по снижению негативного воздействия абразивного изнашивания на детали необходимо знание факторов, определяющих интенсивность изнашивания и влияющих на процессы износа.

Характер и величина износа зависят от: удельной нагрузки, действующей со стороны абразива на рабочую поверхность детали; скорости перемещения абразивной среды; мощности трения; конструкции детали; механических свойств материала; его износостойкости; специфики абразивной среды.

Повышение нагрузки на абразивную частицу приводит к росту контактных напряжений, способствует процессу микрорезания, что обеспечивает увеличение износа и снижение износостойкости [71].

Приращение скорости перемещения абразивной среды неоднозначно влияет на износ. Если он увеличивается с ростом скорости, то это обусловлено изменением вида изнашивания, когда меняется качественная картина процесса. Например, в случае контактирования сыпучих веществ низкой влажности с рабочей поверхностью детали, превалирующим становится микрорезание по отношению к пластическому деформированию [72].

Мощность, в общем механизме абразивного изнашивания, может проявляться двояко: как фактор теплового воздействия на металл, и как фактор, вызывающий разрушение твердых абразивных частиц на контакте, вследствие создания деформационных полей высокого уровня [73].

Известно, что рациональная конструкция деталей, узлов и машин во многих случаях повышает их долговечность. Примером конструктивного решения вопросов повышения стойкости к изнашиванию служит создание условий совместимости и приспособляемости рабочих поверхностей сообразно условиям их эксплуатации. Однако установлено, что замена трения скольжения трением качения в проушинах тракторов путем конструкторских решений, существенного увеличения износостойкости не принесла [75].

Механическим свойствам материала, из которого выполнена деталь, отводится решающая роль, особенно в условиях, когда рабочую поверхность невозможно защитить от воздействия абразивной среды [75].

Сложность и своеобразие процессов, протекающих в металле в результате воздействия на него абразивов, существенно затрудняют теоретические и экспериментальные исследования механизма абразивного изнашивания вследствие невозможности полного моделирования процесса [76]. В этой связи обоснованный выбор износостойкого материала является затруднительным.

Вопросам исследования влияния механических свойств на износостойкость уделяется большое внимание [77]. Изменения механических свойств (предел прочности, предел текучести, твердость, относительное удлинение и сужение, ударная вязкость, энергоемкость) могут по-разному влиять на износостойкость сталей. Известно, что с повышением предела прочности, предела текучести и твердости износостойкость увеличивается. В то же время, относительное удлинение, относительное сужение и ударная вязкость влияют на нее отрицательно [78].

Согласно [79] зависимость износостойкости от механических свойств имеет сложный характер. Она определяется не одной характеристикой, а поэтапно: на первом этапе (при прямом внедрении в поверхность изнашивания) – твердо-

стью; на втором (при перемещении частицы на поверхность изнашивания) - комплексом свойств, включающим показатели прочности и пластичности.

Износостойкость стали, при трении по абразиву, зависит так же от структуры стали, содержания углерода и многих других факторов, требующих дополнительного подробного изучения.

Следует отметить широкое распространение композиционных материалов, обеспечивающих высокую абразивную износостойкость [80].

Износостойкость не является величиной постоянной. Она в основном определяется свойствами абразива, и прежде всего его твердостью (H_a) Взаимодействие абразива и материала наиболее подробно исследовано в работе [81].

Способность абразива резать или царапать материал определяется следующими условиями: $H_a/H_m = f(F_i)$ (H_m – твердость материала); абразив внедрен в поверхность изнашиваемого материала на некоторую глубину.

Исходя из рисунка 44 зона I соответствующей условию $H_a/H_m > F_1, 0,7 < F_1 < 1,1$ — абразивное изнашивание не происходит, а имеет место вид изнашивания, характеризующийся невысокой интенсивностью. Зона II соответствует условию $F_1 < H_a / H_m < F_2, 1,3 < F_2 < 5,5$, когда происходит абразивное изнашивание, при котором величина износа зависит от соотношения H_a / H_m . В зоне III, где $H_a / H_m > F_2$, износ будет большим и стабильным, не зависящим от соотношения H_a / H_m . Интервалы значений F_1, F_2 зависят от вида абразивного изнашивания, физических характеристик изнашиваемого материала и свойств абразива.

Воздействие абразива сопровождается различными формами деформации поверхности материала: упругое деформирование, пластическое оттеснение и резание или выкрашивание поверхности.

При многократном упругом деформировании на поверхности материала царапание не происходит. Следовательно, такая деформация не может быть следствием абразивного изнашивания. Процесс разрушения, связанный с этим явлением, можно отнести к усталостному или какому-либо другому изнашиванию. Абразивное изнашивание может быть следствием только пластического оттеснения материала перемещающимся абразивом или его режущего действия.

Более интенсивно происходит процесс изнашивания при резании и менее интенсивно – при пластическом деформировании [82].

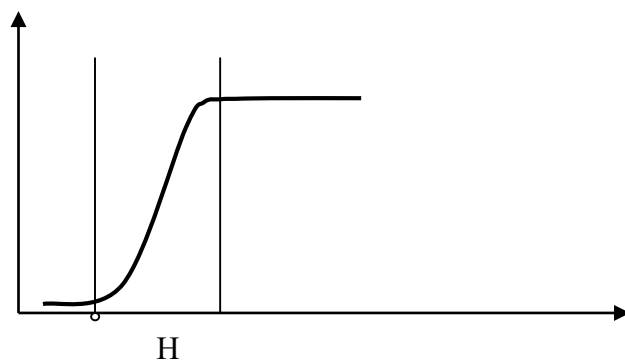


Рисунок 44 – Зависимость износа материала от твердости абразивных зерен H_a по Ваалю

Свойства абразивов изнашивать материалы характеризуются абразивностью, которая в разных областях техники определяется по-разному. Так, за показатель абразивности горных пород принята величина износа в миллиграммах стального стержня диаметром 10 мм твердостью 1800 НВ от изнашивания его торцов о горную породу при частоте вращения 400 мин^{-1} и нагрузке 147 Н.

Абразивность почвы в зависимости от процентного содержания в ней кварцевых частиц k размером 0,25...1,0 мм выражается через величину износа материала $I = a + bk$, где a и b – эмпирические коэффициенты.

В итоге следует сказать, что большое количество факторов, влияющих на процесс абразивного изнашивания и разноплановость их действий, не позволяют однозначно спрогнозировать специфику износа и характер изнашивания конкретной детали в конкретных условиях. Поэтому, с целью разработки мероприятий по повышению долговечности деталей, каждый случай абразивного изнашивания следует рассматривать отдельно.

2.3 Показатели, определяющие специфику изнашивания плужных лемехов

Износ деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин связан в основном с абразивным изнашиванием, которое обусловлено процессами непо-

средственного контактирования рабочих поверхностей с твердыми частицами почвы [83] при отсутствии сопряженной пары.

М.М. Севернев и Г.П. Каплун и другие ученые рассматривали почву как твердое тело с весьма шероховатой поверхностью и подвижным активным слоем. Исследуя качественную сторону взаимодействия частиц почвы между собой и поверхностью, они установили, что относительное перемещение абразивных частиц зависит от их размеров и связности, а неравномерность изнашивания рабочих поверхностей деталей является следствием разной нагрузки и пути относительного перемещения этих частиц [84].

Исследователи [82] утверждают, что износ деталей рабочих органов при их взаимодействии с почвой, является, в большинстве случаев, итогом полудеформационного и усталостного разрушения в результате циклического деформирования материала абразивными зёрнами в пластической и упругой областях. Микрорезание же происходит при однократном действии абразивного зёрна на материал, а поскольку минеральные частицы в почве закреплены недостаточно прочно, процесс микрорезания явление редкое. Говоря о механизме абразивного изнашивания деталей в почвенной среде, автор [84] отмечает, что только малая часть абразивных частиц способна преодолевать силы сцепления материала на структурном уровне и производить его микрорезание. Основная же абразивная масса многократно деформирует одно и то же место поверхности, ускоряя его разрушение. Изнашивание деталей почвообрабатывающих машин протекает в условиях динамического и статического внедрения в металл абразивных частиц почвы.

Интенсивность и характер износа металла рабочего органа, по мнению авторов [85] зависят от природы и свойств почвы, а также условий взаимодействия рабочего органа с почвой.

Таким образом, в рассмотренных механизмах изнашивания деталей, контактирующих с почвенной средой, главенствующая роль отводится разрушению поверхности вследствие различного рода ее деформирования при внедрении абразивных частиц, а процесс микрорезания является вторичным.

Исходя из анализа ранее проведенных исследований абразивного воздействия среды на детали почвообрабатывающих машин, установлены основные факторы (параметры), определяющие динамику и геометрию износа. Прежде всего, к ним следует отнести изнашивающую способность почв, стойкость материала детали к абразивному изнашиванию, эксплуатационные показатели пахотного агрегата, вид обработки почвы. Каждый из параметров характеризуется показателями либо независимыми друг от друга, либо проявляющимися в совокупности.

2.4 Стойкость материала детали к абразивному изнашиванию

Как правило, все детали, работающие в почвенной среде, подвергаются упрочняющим технологическим воздействиям (в основном их режущая и лезвийная части) [86], либо изготавливаются из композиционных абразивностойких материалов. Тем не менее, известны случаи, когда детали рабочих органов изготавливались из углеродистой и легированной стали без упрочняющей обработки (плужный лемех фирмы «BBC» - Германия) с твердостью рабочей поверхности не более 25 HRC, который предназначен для обработки слабосвязанных почв.

Износостойкость деталей во многом определяется видом упрочняющей обработки. Положительные результаты по снижению интенсивности изнашивания были получены применением различных видов термической обработки как всего объема лемеха, так и отдельных его частей.

Экспериментами, проведенными в конце 50-х годов 20-го века, было установлено, что поверхностное упрочнение пластическим деформированием не приводит к заметному увеличению износостойкости изделия. В исследованиях [87] предложено изготавливать детали рабочих органов плуга из сталей 45, 65Г, 40Х с последующей термообработкой на твердость 30...50 HRC. Термообработка состоит в закалке и в среднем отпуске и осуществляется по всему объему. В то же время есть мнение, что объемная закалка не обеспечивает значительного увеличения срока службы изделий, так как на поверхностях трения

преобладает многократное пластическое передеформирование. Авторы [88] считают, что изотермическая закалка способствует повышению износостойкости при абразивном изнашивании, однако такое утверждение не подтверждено полевыми испытаниями деталей.

Исследователи [89] предлагают приваривать к остову лемеха долото повышенной стойкости к абразивному изнашиванию, которая достигается упрочняющей термической обработкой на твердость не менее HRC 42...50 по всему объему долота без термообработки лемеха в целом. Однако исследований по наработке на отказ таких лемехов нет. Не ясно, как поведет себя лемех, восстановленный подобным образом, в процессе эксплуатации, так как долото приваривается к его остову после удаления изношенного носка.

В связи с опережающим износом носка лемеха, предлагается расширить зону закалки вдоль полевого обреза до 60 мм. В этом случае повышается вероятность разрушения лемеха при его работе на каменистых почвах.

Для обеспечения эффекта самозатачивания предлагается использовать одностороннюю закалку лемеха газокислородным пламенем, или токами высокой частоты (ТВЧ), либо применять химико-термическую обработку. Однако, метод закалки ТВЧ и химико-термическая обработка не выгодны вследствие сложности технологического процесса, высокой стоимости оборудования. Поверхностная термообработка газокислородным пламенем часто не приводит к ожидаемым положительным результатам вследствие выгорания углерода и окислительного воздействия газовой струи.

Известно, что одним из способов повышения долговечности лемеха является его оттяжка, которая, однако, приводит к снижению наработки в сравнении с новыми деталями. В этой связи очевидна необходимость в термоупрочнении лемеха, которое заключается вохлаждении лемеха в воде после его горячего деформирования, когда температура детали выше температуры рекристаллизации, что соответствует технологии высокотемпературной термомеханической обработки (ВТМО).

Большое влияние на долговечность лемехов оказывает применение абра-

живностойких материалов в виде различного рода покрытий. Среди них наиболее распространены: электроды для износостойкой наплавки марок Т-590, Т-620, позволяющие получить покрытия твердостью 55...70 НRC; порошковые проволоки ПП-АН-125(-123) и порошковые ленты ЛСУ10Х7ГР, обеспечивающие увеличение ресурса в 1,5...2 раза; наплавочные прутки на основе железа ПР-С27, кобальта ПР-ВЗКР, «Релит», «Сормайт», обеспечивающие твердость поверхности до 45...60НRC; сплавы типа ФБХ-6-2, ПГС-УС-25, ПР-ФБЮ-1-4, увеличивающие ресурс до 70%.

Кроме перечисленного, используют комбинированную наплавку электродными материалами, обеспечивающими повышенную твердость наплавленного металла по слою порошка. Наплавка таких электродных материалов осуществляется в зависимости от их химического состава и состояния электродуговым, газопламенным, индукционным, плазменным методами и намо-раживанием.

Упрочняют наплавкой в основном лезвие лемеха, нанося покрытие с тыльной стороны, что связано с возникновением и развитием «эффекта самозатачивания». Между тем, установлено, что самозатачивание наблюдается лишь в отдельных случаях на определенных типах почв (глинистых и суглинистых). При пахоте на почвах отличного гранулометрического состава наблюдались износы в других областях лемеха (износ носка по высоте и лучевидный износ). Поэтому рядом авторов поднят вопрос о локальном упрочнении зон наиболее вероятного износа, непосредственно зависящих от типа почвы.

Как следует из вышесказанного, упрочнение рабочих органов наплавочными способами происходит благодаря использованию дорогостоящих износостойких сплавов, с большим процентным содержанием хрома и вольфрама. По результатам отечественных и зарубежных испытаний установлено, что упрочнение такими сплавами нецелесообразно, так как высокая стоимость упрочненной детали не компенсируется увеличением ресурса.

В 80-х годах прошлого века в ряде стран для упрочнения деталей рабочих органов было предложено использовать техническую керамику на основе окси-

да алюминия. При высокой износостойкости керамики наблюдалась недостаточная ее сопротивляемость к ударным воздействиям и низкая прочность клеевого соединения. Усовершенствование технологии нанесения керамических материалов наплавкой и пайкой позволило считать это направление перспективным. Применение керамических покрытий для упрочнения лемехов повышает их износостойкость и ресурс, в условиях суглинистых почв, в 1,5...2,6 раза в сравнении с серийными лемехами. Помимо высокой стоимости керамических материалов, применение упрочненных керамикой деталей для обработки каменистых почв малоэффективно в силу их низкой ударной вязкости.

Электронапекание порошковых материалов на элементы рабочих органов почвообрабатывающих машин, по-видимому, представляет собой прогрессивную технологию упрочнения. Однако оно малоисследовано, и поэтому его применение не получило должного распространения.

В [90] показана целесообразность использования композиционных электрохимических покрытий для повышения долговечности плужных лемехов. Повышение физико-механические свойства покрытий, в частности износостойкости в 2...2,5 раза, достигается введением легирующих элементов (Ni и Co). Тем не менее, невысокая толщина наращенного слоя приведет к быстрому его истиранию, не обеспечив требуемой долговечности.

В [91] предлагается повышать износостойкость рабочих органов почвообрабатывающих машин нанесением порошковых покрытий из карбидов вольфрама и хрома, окиси алюминия при помощи детонационного и плазменного напыления. На поверхности изделия образуется плотное однородное покрытие, по износостойкости превышающее износостойкость стали, хромовых покрытий и в некоторых случаях даже спеченного карбида вольфрама. Помимо высокой стоимости порошковых материалов, часто не удается обеспечить необходимое сцепление покрытия и подложки.

При равной макротвердости, износостойкость стали в почве тем выше, чем больше в ее структуре карбидов, твердость которых превышает твердость почвенных частиц. Исключить воздействие абразивных частиц воз-

можно, если твердость материала детали будет равной или превышающей твердость этих частиц.

2.5 Эксплуатационные факторы, влияющие на абразивное изнашивание деталей рабочих органов почвообрабатывающих орудий

Среди факторов, влияющих на изнашивание деталей почвообрабатывающих машин, следует указать также скорость движения пахотного агрегата. Ее увеличение приводит к росту давления на рабочие органы и перераспределению его по рабочим поверхностям. Так, при изменении скорости движения плуга с 0,46 до 3,2 м/с на песчаной почве с глубиной пахоты 18...20 см, среднее удельное давление в заглубляющей части лемеха возрастает в 1,49 раза, а в средней части и на носке в 1,3 раза.

Правильность регулировок также оказывает влияние на процесс износа деталей: позволяет поддерживать постоянной глубину обработки почвы, обеспечивает устойчивость движения плуга, способствует необходимой заглубляемости лемеха, чем создает условия для относительно равномерного износа рабочей поверхности лемехов.

Важным эксплуатационным фактором, влияющим на геометрию износа деталей почвообрабатывающих машин, является их техническое состояние (острота лезвия, сборка).

Изнашиваемость деталей, работающих в почвенной среде, зависит от распределения давления по рабочим поверхностям. С увеличением давления на поверхности трения интенсивность изнашивания возрастает прямо пропорционально, причем при увеличении влажности давление уменьшается для почв первой группы и увеличивается для песчаных почв.

Конструкция рабочих органов влияет как на рациональную обработку почвы, так и на их износостойкость. Величина абразивных частиц, трение, прилипание, влажность и связность - это те показатели, на которых базируется построение плугов (В.П. Горячкин).

Таким образом, специфика изнашивания деталей почвообрабатывающих орудий определяется в основном тремя факторами: изнашивающей способностью почвы, стойкостью материала к абразивному изнашиванию и эксплуатационными показателями. Путем изменения двух последних факторов имеется возможность в широком диапазоне влиять на процесс износа, увеличивая сопротивляемость деталей к негативному воздействию абразивной среды.

3 Почвы, как абразивная среда

3.1 Гранулометрический состав почв. Общая характеристика

Почва – самостоятельное естественноисторическое органоминеральное природное тело, состоящее из твердых минеральных и органических частиц, воды и воздуха и имеющее специфические генетико-морфологические признаки, свойства, создающие для роста и развития растений соответствующие условия. Она, являясь продуктом совокупного взаимодействия различных природных факторов - климата, почвообразующих пород, условий рельефа, растительности и времени, наследует ряд свойств и признаков этих природных факторов. В последнее время в связи с катастрофой на Чернобыльской АЭС ряд почвоведов считают, что при анализе почв, в том числе и ее механических свойств, необходимо учитывать и фактор радиации, хотя достоверных сведений о подобного рода влиянии в известной литературе нет.

Твердая фаза состоит из сгораемой части, в которую входят гумус и органические остатки растений, и несгораемой – минеральной. Гумус является специфической частью твердой фазы, определяющей потенциальное плодородие почвы и оказывающей влияние на ее физические и механические свойства. Его источником являются органические остатки высших растений, микроорганизмов и животных, развивающихся в почве.

Минеральная часть твердой фазы почвы состоит из мелкоземистой и ске-

летней частей. К первой относят частицы, размер которых не превышает 1,0мм. Минеральная часть почвы составляет 80...90 % и более по массе.

В состав почвы входят две группы минералов: первичные минералы, образовавшиеся из магматических и метаморфических пород, и вторичные минералы, которые сформировались из первичных под воздействием климатических изменений и биологических процессов на поверхности суши.

Из первичных минералов наибольшее распространение в почве имеют: кварц SiO_2 , силикаты, алюмосиликаты. Содержание минералов в почве характеризуется следующими данными: кварц – 40...60 % и более, силикаты – 5...10 %, алюмосиликаты: полевой шпат до 20 %, слюда до 10 % и другие минералы до 5 %, которые в основном определяют гранулометрический состав почв.

Гранулометрический состав почвы – это содержание в почве механических элементов различной величины, объединенных по фракциях. Совокупность почвенных частиц, диаметр которых лежит в определённых пределах, составляет фракцию гранулометрических элементов, например камни, гравий, песок, пыль различной крупности.

Учитывая, что доминирующим фактором в изнашивающей способности почв является их гранулометрический состав, рассмотрим существующие классификации.

В настоящее время получили распространение два основных принципа построения классификаций почв по гранулометрическому составу: первый - на основании содержания физической глины с учётом преобладающей фракции и типа почвообразования, создана Н.А. Качинским и принята в России; второй - на основании относительного содержания фракций песка, пыли и глины по Аттербергу принята международная классификация (классификации общества почвоведов (SSSA) и общества агрономов (ASSA) США). Для определения названия почвы используют треугольник Ферре.

Рассмотрим классификацию Н. А. Качинского подробнее. В ее основу положено соотношение физической глины (частицы менее 0,01 мм) и физического

песка (частицы от 0,01 до 1 мм) (таблицы 3 и 4). Частицы крупнее 1 мм составляют скелетную часть почвы, а мельче 1 мм - мелкозём.

Таблица 3 - Классификация гранулометрических элементов почвы (по Н.А. Качинскому)

Граничные значения, мм	Название фракции
до 0,0001	коллоиды
0,0001...0,0005	ил тонкий
0,0005...0,001	ил грубый
0,001...0,005	мелкая пыль
0,005...0,01	средняя пыль
0,01...0,05	крупная пыль
0,05...0,25	тонкий песок
0,25..0,5	средний песок
0,5...1	крупный песок
1.. 3	гравий
> 3	камни

Вместе с этими в классификации Качинского выделяются фракции физического песка (сумма всех механических частиц размером $> 0,01$ мм) и физической глины (сумма частиц $< 0,01$ мм).

Для более полной характеристики почвы по гранулометрическому составу в классификации основное разделение проведено по содержанию физической глины и физического песка и дополнительное с учетом преобладающих фракций: гравелистой (3...1 мм), песчаной (1...0,05 мм), крупнопылевой (0,05...0,01 мм), пылевой (0,01 — 0,001 мм) и иловой ($< 0,001$ мм); по содержанию камней (частиц > 3 мм) выделяют почвы различной каменистости (таблица 3). В зависимости от гранулометрического состава выделяют лёгкие, средние и тяжёлые почвы.

Таблица 4 – Классификация почв по гранулометрическому составу с учетом типа почв (по Н.А. Качинскому)

Подзолистого типа почвообразования	Степного типа почвообразования, красноземы и желтоземы	Солонцы и сильно солонцеватые почвы	Подзолистого типа почвообразования	Степного типа почвообразования, красноземы и желтоземы	Солонцы и сильно солонцеватые почвы	Краткое название почвы по механическому составу
Содержание «физической глины» (частиц диаметром <0,01мм) в %			Содержание «физического песка» (частиц диаметром >0,01мм) в %			
0-5	0-5	0-5	100-95	100-95	100-95	Песок рыхлый
5-10	5-10	5-10	95-90	95-90	95-90	Песок связный
10-20	10-20	10-15	90-80	90-80	90-85	Супесь
20-30	20-30	15-20	80-70	80-70	85-80	Суглинок легкий
30-40	30-45	20-30	70-60	70-55	80-70	Суглинок средний
40-50	45-60	30-40	60-50	55-40	70-60	Суглинок тяжелый
50-65	60-75	40-50	50-35	40-25	60-50	Глина легкая
65-80	75-85	50-65	35-20	25-15	50-35	Глина средняя
> 85	> 85	> 65	< 20	< 15	< 35	Глина тяжелая

Н.А. Качинским также предложено деление почв и по каменистости. Почва не каменистая содержит 0,5% каменистого материала; эта почва для обработки нормальная. Слабокаменистая почва содержит 0,5 – 5% каменистого материала; среднекаменистая – 5 – 10 % каменистого материала; сильнокаменистая - >10 % каменистого материала.

В.Н. Винокуровым изучено и установлено примерное распределение почв бывшего СССР по механическому составу (таблица 5)

Из этой таблицы следует, что наибольшее распространение имеют легко- и среднесуглинистые почвы, относящихся к группе тяжелых почв.

Таблица 5 - Распределение почв бывшего СССР по механическому составу, млн.га.

Общая посевная площадь, млн.га.	В том числе				
	супесчаные	легкосуглинистые	среднесуглинистые	тяжелосуглинистые	глинистые
220	32,1	85,4	73,7	26,2	2,6
100%	14,6%	38,8%	33,5%	11,9%	1,2%

Таким образом, общая сумма тяжелых почв составляет более 80%.

В то же время экспериментальных данных по увеличению долговечности лемехов при их эксплуатации на таких почвах недостаточно, хотя состояние почвенной массы оказывает определяющее влияние на изнашивание этих деталей.

С учетом проводимых экспериментальных исследований в хозяйствах Брянской области необходимо дать характеристику гранулометрического состава почв этого региона.

3.1.1 Характеристика гранулометрического состава почв Нечерноземья России (на примере Брянской области)

В почвенном отношении территория Брянской области весьма неоднородна и является характерной для всего Нечерноземья России. На территории Брянской области сформировались зональные типы почв дерново-

подзолистые и серые лесные, торфяно-болотные и болотные и интразональные почвы.

В данном регионе располагаются самые различные почвы: от суглинков до развеваемых песков. Наиболее распространены дерново-подзолистые и серые лесные почвы. На севере и западе Брянщины, в условиях более влажного климата и более глубокого промывания, преобладают подзолистые почвы. На юге и востоке, где осадков меньше, - серые лесные. Подзолистые почвы занимают примерно 65 % площади, а серые лесные - около 25 %. Наиболее часто встречающийся почвенный покров Брянской области приведен в таблице 6. Таблица составлена по почвенной карте региона.

Таблица 6 – Почвенный покров Брянской области

Почвы	Общая сельскохозяйственная площадь	
	тыс. га	%
Дерново-подзолистые	1143,2	45,7
супесчаные	399,1	15,9
суглинистые	609,8	24,4
Дерново-подзолистые слабоглееватые и глееватые	269,5	10,8
супесчаные	93,3	3,7
суглинистые	157,2	6,3
Дерново-подзолистые глеевые	96,4	3,8
супесчаные	19,5	0,7
суглинистые	73,8	2,9
Серые лесные	500,1	20,0
суглинистые	194,8	7,7
Темно-серые лесные	51,8	2,1
суглинистые	46,2	1,8
Другие, не подвергающиеся обработке	440	17,6

Примечание: площадь почв в процентах дана от суммарной площади

Как видно из данных таблицы 6, основной фон почвенного покрова области составляют дерново-подзолистые почвы 60,3 %, 20 % приходится на долю серых лесных почв, остальные 8 типов охватывают всего около 20 % территории. Общая площадь дерново-подзолистых почв, составляет 1509,1 тыс. га, они занимают более 60 % пашни в хозяйствах области.

Среди различных типов почв, характерных для Юго-западного района Нечерноземной зоны Российской Федерации хорошо прослеживается зависимость проявления подзолистого процесса от литологии почвообразующих пород. Так, среди дерново-подзолистых песчаных почв слабоподзолистые составляют 63,4 %, среднеподзолистые только 33,4%, а у дерново-подзолистых супесчаных и суглинистых доля слабоподзолистых почв падает до 32,0 и 23,6 % соответственно, доля среднеподзолистых почв составляет 66,9 и 75 % соответственно. Связано это в первую очередь с особенностями минералогического состава данных пород. Характер почв зависит от их гранулометрического состава, поэтому они подразделяют на песчаные, супесчаные, суглинистые и глинистые.

Границы перехода одной группы почв в другую, безусловно, имеют небольшое колебание в значении процентного содержания «физического песка» (частиц >0,01 мм).

По степени подзолистости дерново-подзолистые почвы представлены тремя видами: слабоподзолистые, среднеподзолистые и сильноподзолистые; кроме того, эти почвы по механическому составу располагаются в следующий убывающий ряд: суглинистые (55,1 %), супесчаные (36,0 %), песчаные (8,9 %).

Дерново-подзолистые суглинистые почвы получили наибольшее распространение на территории области, как и на всей территории Нечерноземья Российской Федерации. Занимаемая ими площадь составляет 840,8 тыс.га.

Дерново-подзолистые супесчаные почвы на территории области представлены не так широко, как суглинистые, однако они встречаются во всех районах. Общая площадь их распространения составляет 511,9 тыс. га.

Наименее распространены дерново-подзолистые песчаные почвы, которые располагаются в долинах рек, занимая площадь 13,4 тыс. га.

Почвы серого лесного типа по распространению занимают второе место – 500,1 тыс. га. По механическому составу они в основном представлены легкими и, в незначительной степени, средними суглинками.

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 %). Подобные почвы, при наличии достаточного количества связывающих веществ (физической глины) и повышенной влажности, обладают самой высокой изнашивающей способностью.

Таким образом, почвенный покров Брянской области представлен большим разнообразием. Наибольшее распространение имеют дерново-подзолистые почвы (чуть более 60 %). В свою очередь супесчаные почвы занимают около 20 %, суглинистые – около 40 %. Именно перечисленные типы почв составляют основной состав пахотных земель области.

Наличие такого состава почв определяет их достаточно высокую изнашивающую способность, приводящую к низкому ресурсу элементов конструкции плужных корпусов, в частности лемехов. Причем определяющими из них являются тяжелые почвы.

3.2 Изнашивающая способность почв

В качестве основного фактора, определяющего износ рабочих органов почвообрабатывающих машин, выделяется механический состав почвы, так как абразивные (минеральные) частицы имеют специфическую макрогеометрию, заключающуюся в наличии острых граней и выступов. Такой профиль способен осуществлять резание и контактное деформирование рабочей поверхности.

Изнашивающая способность песчаных и супесчаных почв без каменистых включений составляет 260 г/га, а глинистых и суглинистых 2...30 г/га.

Повышенное содержание твердых абразивных частиц предопределяет механизм изнашивания плужных лемехов, влияющий на форму и место износа. 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). Глины и прочие компоненты вторичного происхождения, обладающие значительно меньшей абразивной способностью, приводят к затуплению лезвия и образованию затылочной фаски.

Наибольший износ наблюдается на супеси, хотя количество щебнисто-каменистых включений на 1 м² на супесчаной почве значительно меньше, чем на песчаной. Это объясняется тем, что щебнисто-каменистые включения в супесчаной почве более прочно зафиксированы, чем в песчаной.

На дерново-подзолистой почве глинистого механического состава увеличение содержания каменистых включений с 5 до 25 м³ на гектар вызывает увеличение изнашивающей способности лемехов в 2,3 раза.

Между тем единого мнения о факторах, влияющих на изнашивающую способность почв к настоящему времени не имеется.

Так Каплун Г.П. все почвы предлагает разделить на три группы с учетом удельного износа по весу стандартных лемехов и содержанию «физического песка» (%). В первую группу входят глинистые и суглинистые почвы, которые обладают сравнительно малой изнашивающей способностью. Во вторую группу - 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 способностью.

В своей работе Ларин Г.И. дает оценку изнашивающей способности по коэффициенту относительной изнашивающей способности почв, принимая за исходную единицу, характеристику этого показателя, для песчаных почв. Этот показатель базируется и на окультуренности почв.

Очевидно, что по изнашивающей способности, согласно принятому

критерию, почвы можно расположить в следующем порядке: песок, супесчаная лесная, супесчаная с/х пользования, суглинистая лесная, суглинистая и глинистая с/х пользования (таблица 7). Таким образом, степень окультуренности почв в пределах одного механического состава оказывает влияние на их изнашивающую способность. Причем лесные почвы имеют изнашивающую способность в среднем, на 10 % выше, чем почвы сельскохозяйственного пользования.

Таблица 7 - Коэффициенты относительной изнашивающей способности почв

Почва	Величины коэффициентов относительной изнашивающей способности почв в сериях испытаний				
	путь трения и износ	влажность и износ	уд. давление и износ	скорость и износ	средние значения
Песок	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Супесчаная с/х пользов.	0,81	0,74	0,62	0,75	0,73
Суглинистая с/х пользов.	0,50	0,56	0,35	0,52	0,48
Глинистая с/х пользов.	0,38	0,36	0,24	0,37	0,34
Супесчаная лесная	0,87	0,80	0,78	0,85	0,85
Суглинистая лесная	0,63	0,67	0,42	0,63	0,57

Л.С. Ермолов и С.П. Васильев предложили классификацию почв по изнашивающей способности, во многом схожую с классификацией, в основу которой положены удельный износ лемехов плугов по массе и процентное содержание в почве «физического песка», определяющего абразивные свойства почвы. К первой группе отнесены почвы глинистого и суглинистого механического состава, на которых удельный износ лемехов составляет от 2 до 30 г/га. Ко вто-

рой группе – песчаные и супесчаные с удельным износом лемеха 100 г/га. К третьей группе – песчаные почвы с большим количеством каменных включений, на которых удельный износ лемехов составляет 260...450 г/га.

Изнашивание в абразивной среде является весьма сложным процессом, особенно если оно происходит в почве, состав которой может меняться даже на одном небольшом по площади участке. Поэтому этот параметр носит абсолютное значение и является частной характеристикой. Данные лабораторных исследований вряд ли можно считать достоверными из-за идеализации эксперимента.

Не менее важным фактором, влияющим на изнашивание рабочих органов, является влажность почв (W), так как она существенно влияет ее изнашивающую способность. Влажность в значительной мере изменяет коэффициент трения почвы о сталь, а, следовательно, и изнашивание трущейся поверхности. Для каждой почвы имеется свое значение W , при которой коэффициент трения достигает максимума, он для разных почв колеблется от 0,25 до 0,9.

С увеличением W песчаных почв изнашивание деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин возрастает. На глинистых и суглинистых почвах наблюдается обратное явление. Влажность влияет не только на интенсивность изнашивания, но и на вид изнашивания. Так, при пахоте супесчаных почв с $W = 2,8...4\%$ лемеха в основном изнашиваются по ширине, а с $W = 9,4...12\%$ – по толщине в носовой части.

При пахоте супесчаной почвы влажностью 10...14 % удельное давление на рабочей поверхности лемеха распределяется неравномерно.

Наибольшее давление испытывает носовая часть лемеха. Средние давления в зоне носка в 4,6...12,8 раза больше среднего давления в его центральной части. Максимальное давление в нижней части зоны носка при скорости 1,4 м/с на глубине 22 см достигает 1,6...1,8 МПа. Наиболее чувствительна к изменению режима пахоты, определяемого влажностью, зона носка лемеха.

Таким образом, изнашивающая способность почвы определяется действиями ряда факторов: основным методом, определяющим изнашивающую

способность той или иной почвы, является процентное содержание в ней кварцевых частиц размером $>0,01$ мм. Чем больше их в почве, тем быстрее изнашивается лемех при ее обработке; при неизменном гранулометрическом составе и влажности почвы изнашивающая способность зависит главным образом от давления абразива на рабочую поверхность лемеха; влажность почвы оказывает определенное влияние на изнашивающую способность, хотя и неоднозначную для различных типов почв; значение коэффициента трения почвы о сталь находится в широком диапазоне; окультуренность почв; единой оценки изнашивающей способности до настоящего времени не выработано.

3.3 Влияние почвенных условий на характер износа деталей рабочих органов почвообрабатывающих орудий

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, 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. 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).

Большая часть этих частиц имеет округлую форму, но также присутствуют включения, имеющие острые грани и выступы, 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.

По своей изнашивающей способности почвы классифицируются по трем группам с учетом удельного износа по весу стандартных лемехов и содержанию «физического песка» (%). 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 способностью (таблица 8). 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.

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.

Таблица 8 – 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

Очевидно, что на изнашивающую способность почвы не могут влиять твердость изнашиваемой детали, химический состав и другие свойства. 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 также при постоянных свойствах изнашиваемой детали интенсивность зависит главным образом от давления абразива. При повышении давления на поверхности трения интенсивность изнашивания возрастает прямо пропорционально, при увеличении влажности – уменьшается для почв первой группы (таблица 8) и увеличивается для песчаных почв. Влажность влияет не только на интенсивность, но на вид износа. 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: «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.

На вспашке большинства почв износ лицевой стороны лемеха относительно невелик и не сказывается на его сроке службы, так как толщина верхней части лемеха – достаточная. Но как показывают результаты многолетних наблюдений, исключение 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, и, кроме того, с видом деформации почвы в зависимости от ее гранулометрического состава при обработке клиновыми рабочими органами.

Движение клина сопровождается перемещением твердых почвенных частиц в фазе деформации перпендикулярно к рабочей поверхности лемеха, а потом и отвала 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.

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

4 Изнашивание лемехов и отвалов плужных корпусов

4.1 Изнашивание лемехов

4.1.1 Изменение геометрических параметров цельнометаллических лемехов отечественного производства

Как правило при разработке технологии изготовления и восстановления 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 обрезу, характерное истирание плоскости выражено в виде полосы (лучевидного износа) шириной 30...40 мм, примерно под углом 50...55° от носка к

верхней стыковочной плоскости. По мнению [92] образование лучевидного износа и наличие значительных износов связано с повышенными давлениями почвы в областях их проявления. Исследованиями ряда авторов установлено, что максимальные давления в отдельных частях лемеха достигают величин, превышающих средние удельные давления в 5...6 раз 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). Ее характерное уменьшение наблюдалось в различных плоскостях лемеха. (рисунок 45).

По спинке лемеха до скоса носка наблюдался достаточно небольшой износ $\Delta l_1 = 0,5...2,5$ мм. Характерное повышение величины износа, до 2,5 мм, происходит на расстоянии 250...370 мм от пятки (рисунок 45 б), что отмечается образованием углубления (лучевидного износа) на рабочей поверхности расположенного примерно вдоль скоса носка лемеха.

Износ носка характеризуется относительно большими величинами $\Delta l_2 = 2...12,5$ мм, что объясняется также повышенным давлением почвы в данной зоне, на 40...50 % большим, чем испытывает пятка. Характер износа представлен на рисунке 45, в.

Лезвие лемеха, термически обработанное до 50 HRC, на ширину 20...35 мм, имеет также неравномерный износ, как и в случае верхней стыковочной плоскости. Однако, характер протекания изнашивания различен (рисунок 45 г). 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.

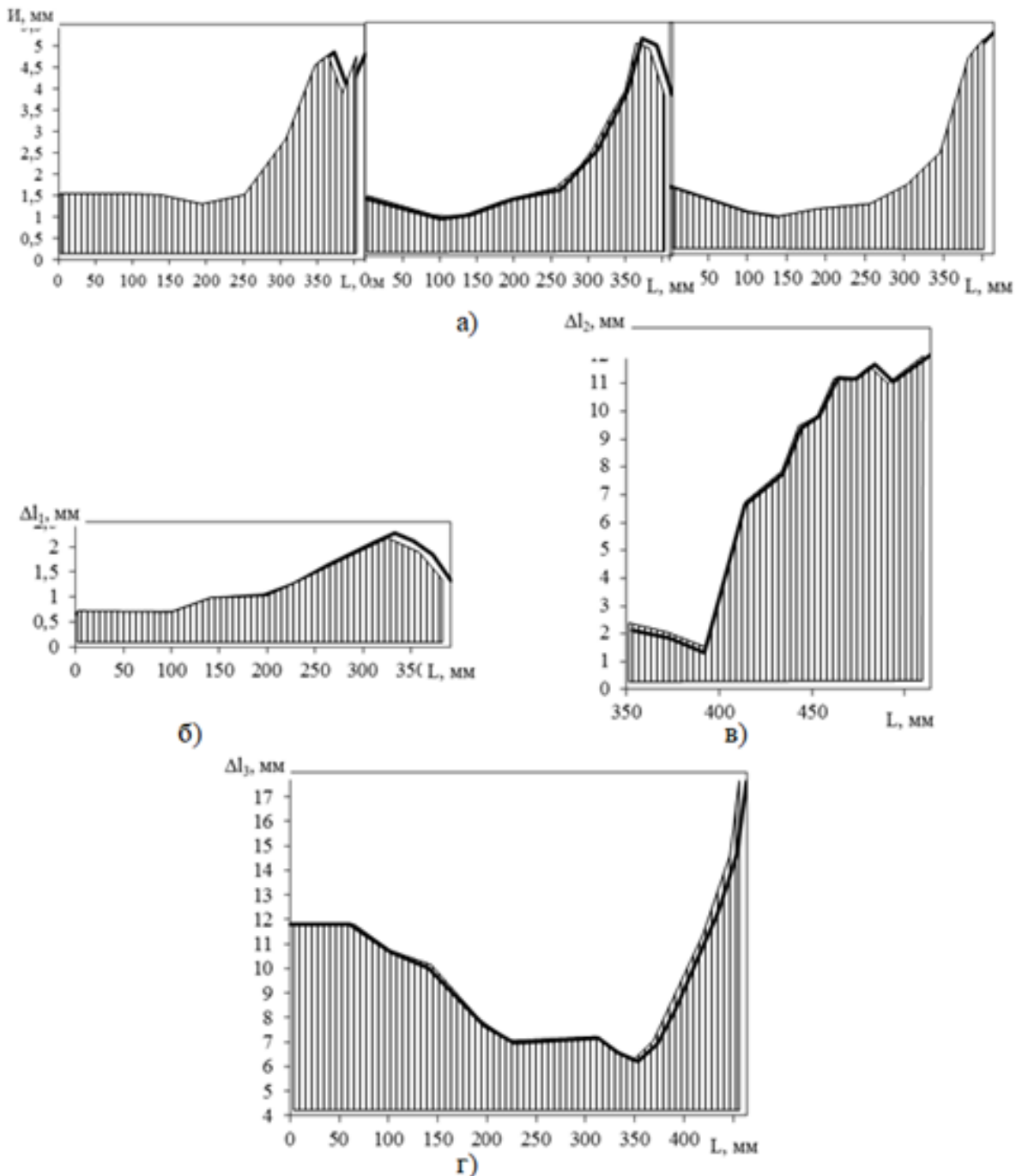


Рисунок 45 – Эпюры износа в различных сечениях по длине лемеха L : а) по толщине; б) по верхней стыковочной плоскости; в) по скосу носка; г) лезвия

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 46).

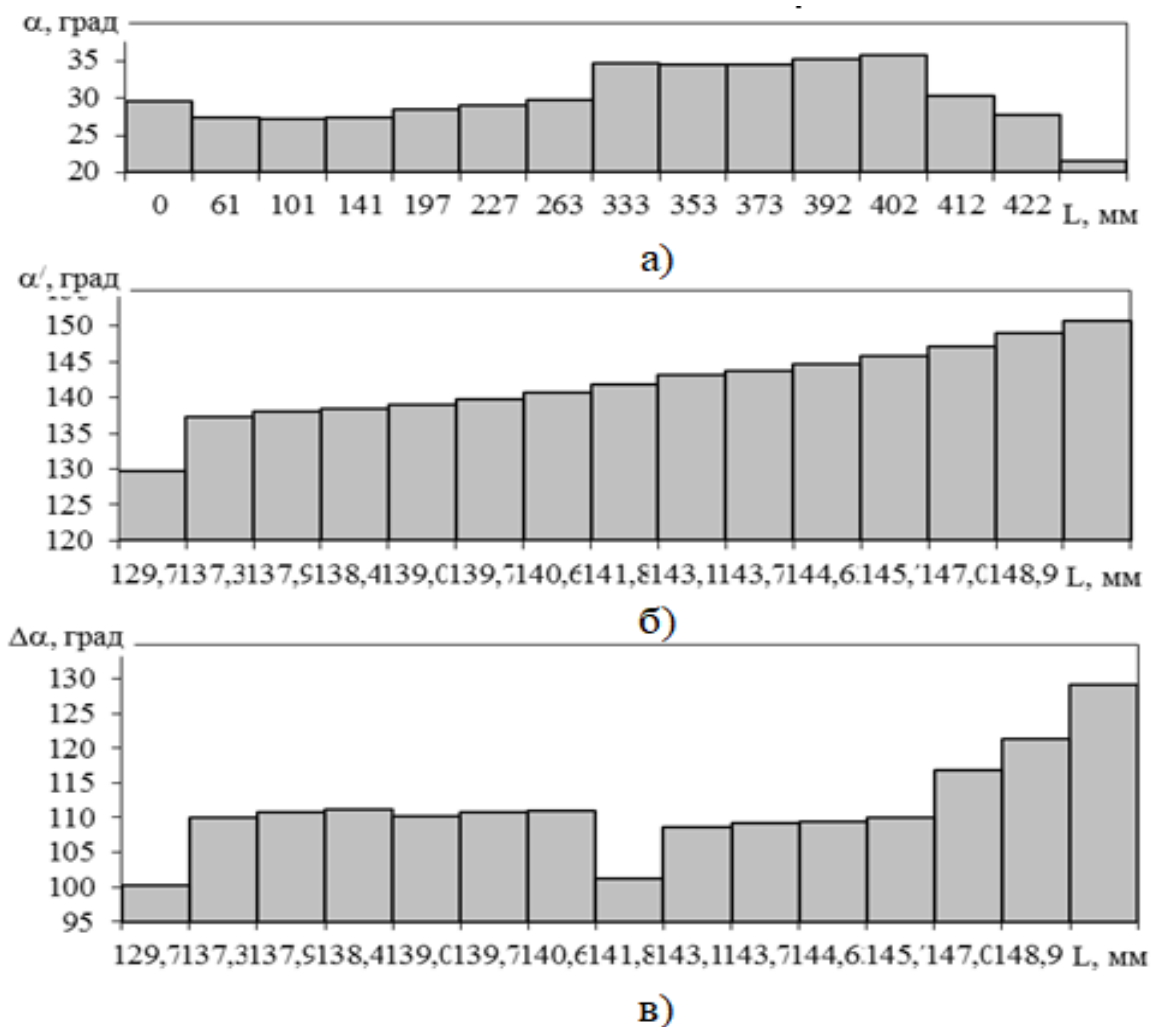


Рисунок 46 – Изменение угла заточки лезвия (α) по длине лемеха (L): а) – до эксплуатации; б) – после эксплуатации α' ; в) – изменение угла заточки

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.

4.2 Анализ износов составных лемехов импортного производства

За последние двадцать лет использование составных импортных лемехов увеличилось в несколько раз из-за их высоких эксплуатационных качеств по сравнению с лемехами отечественного производства. Поэтому целесообразно проанализировать износы лемехов ряда ведущих зарубежных компаний, которые занимают определенные ниши на отечественном рынке деталей сельскохозяйственных орудий. Все приведенные данные получены непосредственно авторами.

4.2.1 Лемеха фирмы Voge I& Noot

Износы долот фирмы Vogel & Noot не могут быть проанализированы из-за полного исчерпания этой деталью своего ресурса. Данное долото не подвергается восстановлению и выбраковывается.

Проведение статистического анализа изменения размеров лемехов, поступивших на восстановление, позволит выявить характер, место расположения, а также численные значения износов. Полученные показатели позволят разработать способ восстановления, отличающийся наибольшей эффективностью.

В процессе исследования и многолетнего опыта использования импортных лемехов и долот наблюдались только дефекты, связанные с износами. Отдельные случаи поломок и появления трещин в деталях связаны с грубыми нарушениями правил использования плугов и носят крайне редкий характер. Поэтому при изучении дефектов они не учитывались.

Аналізу подвергались 32 лемеха, достигшие предельного состояния, и поэтому снятые с эксплуатации. За предельное состояние принимали полное истирание режущей части лемеха и долота. Этот процесс происходит одинаково для обеих деталей и завершается фактически одновременно. В тоже время, до потери лемехом ресурса долото переворачивают на 180° , т.к. оно изготовлено двухсторонним.

Лемеха использовались при пахоте на полях одного хозяйства с преимущественно супесчаными и легкосуглинистыми почвами.

Наработка лемехов до утраты ими работоспособного состояния ($T_{пр}$) оказалась ниже ожидаемой и составила около 25 га на изделие. (По информации, поступившей из хозяйств, имеющих средне- и тяжелосуглинистые почвы $T_{пр}$ составило около 70 га. Наблюдения проводились в аналогичный период времени, что и у опытных образцов.) Такая наработка, следует полагать, связана с увеличенной влажностью почвы ($W = 23\%$ против средней 18%). Испытания велись в весенний период 2009 года. Известно, что повышенная W супесчаных почв приводит к резкому росту их изнашивающей способности (исследования М.М. Севернева и его школы).

Измерения износов осуществлялись по следующим геометрическим размерам (рисунок 47):

Δh_i – по толщине в 15 точках (6-я точка при построении графиков не учитывается). Износы режущей части не могли быть измерены ввиду ее полного истирания (во внимание принимались только размеры, определяющие работоспособное состояние. Остальные использовались для более тщательного контроля);

Δl_i – по длине в 6 плоскостях.

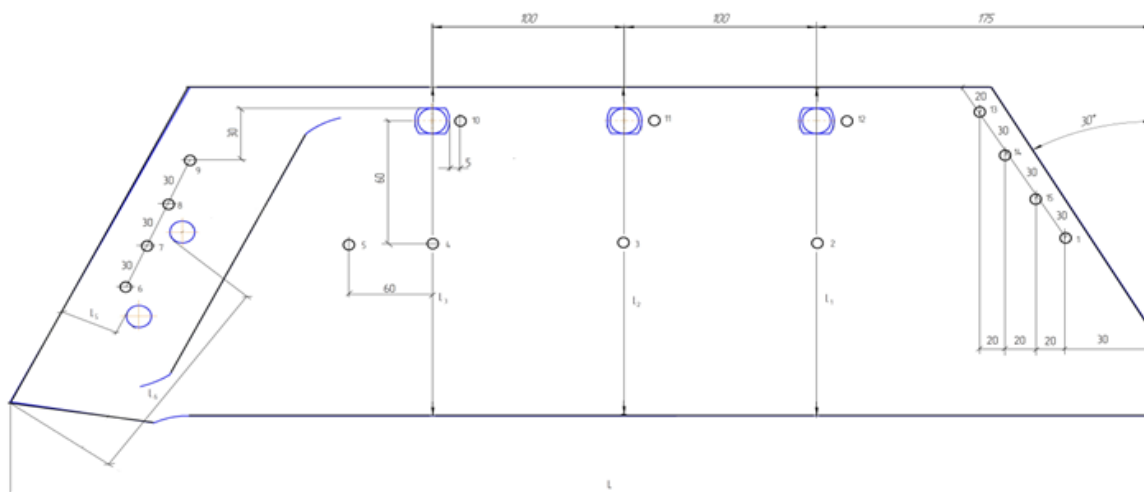


Рисунок 47 – Схема измерений для определения износов

То есть изучение износов и их характера с точки зрения изменения размеров проводилось достаточно подробно. Хотя ряд размеров, по-видимому, не будет оказывать сколько-нибудь существенного влияния на разработку и специфику технологий реновации.

Обработка результатов измерений проводилась с помощью программы Excel на персональном компьютере.

Результаты обработки показали, что полученные гистограммы распределения Δh_i (рисунок 48 а - м) не подчиняются какому-либо одному закону распределения. Так для $\Delta h_1, \Delta h_3, \Delta h_4, \Delta h_{11}$ характерен экспоненциальный (рисунок 48 а, в, г, з); для $\Delta h_2, \Delta h_5, \Delta h_{10}, \Delta h_{12}, \Delta h_{13}, \Delta h_{14}, \Delta h_{15}$ - нормальный (рисунок 48 б, д, ж, и, к, л, м); для Δh_7 – Пуассона (рисунок 48 е). Размеры $\Delta h_6, \Delta h_8, \Delta h_9$ не подвергались обсчетам, т.к. точки измерения расположены на участке крепления долота и поэтому износы в указанной области практически отсутствуют, либо столь малы, что их статистическая обработка теряет всякий смысл.

Разнообразие законов указывает на сложность процессов износа в различных областях лемеха, хотя коэффициенты вариации для всех Δh_i не столь велики (таблица 9) и указывают на незначительные разбросы опытных данных. Сложность изнашивания связана, по мнению ряда исследователей, с частым изменением гранулометрического состава почвы и непостоянством давлений в

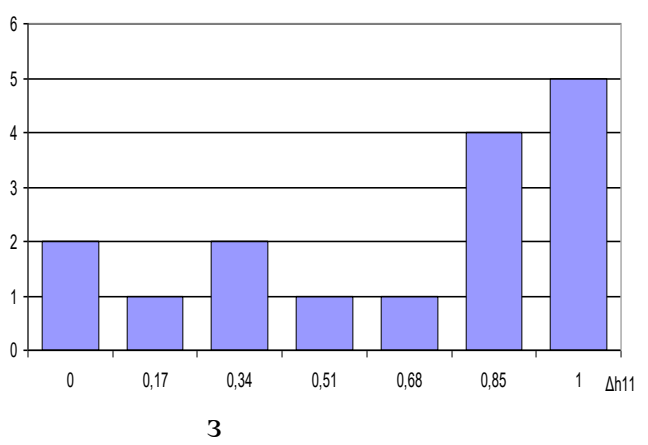
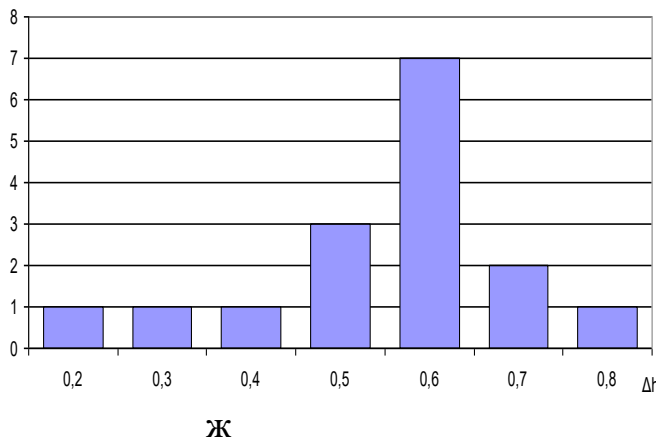
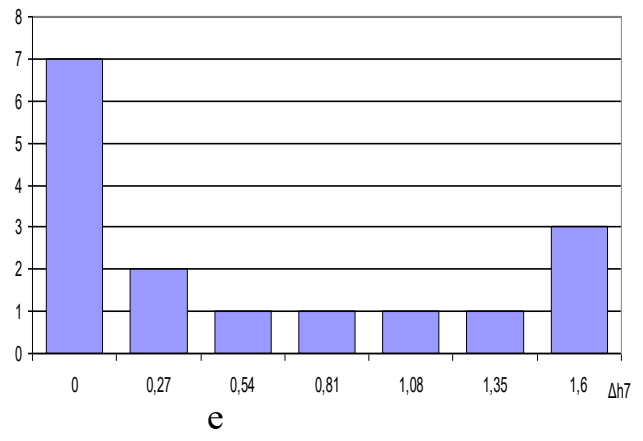
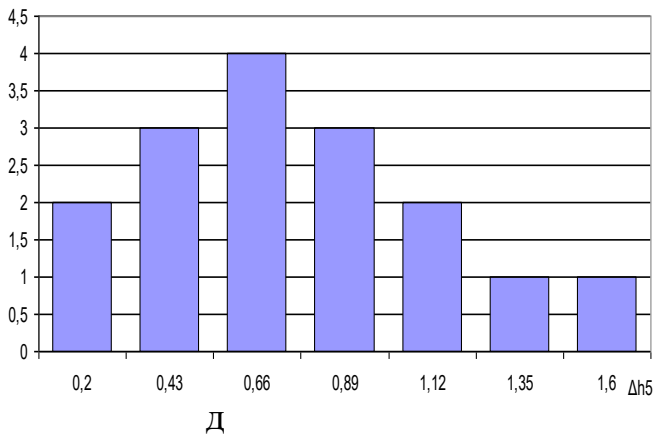
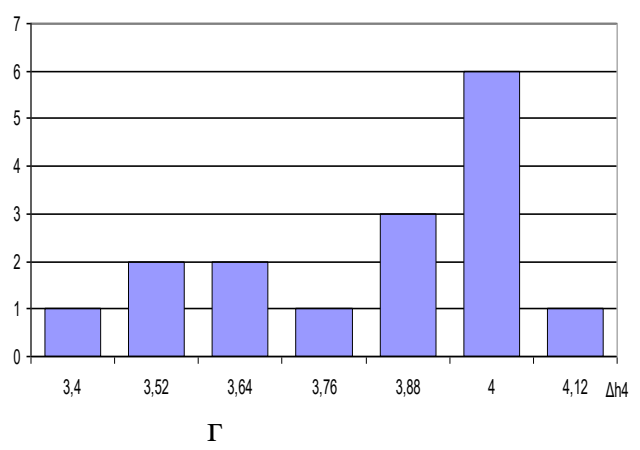
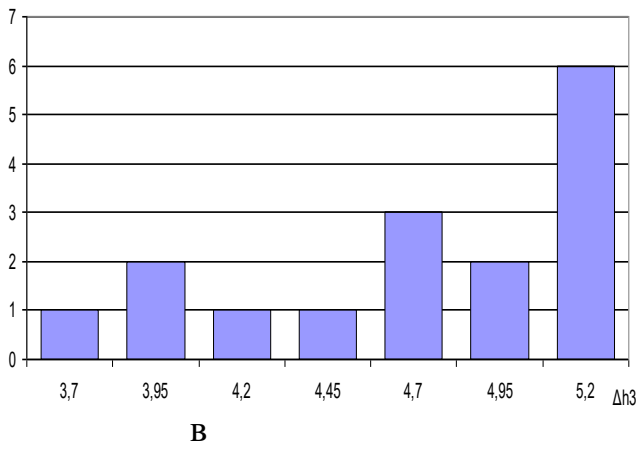
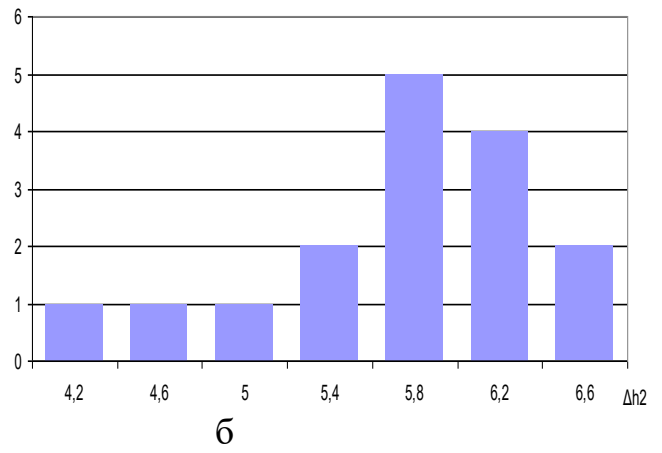
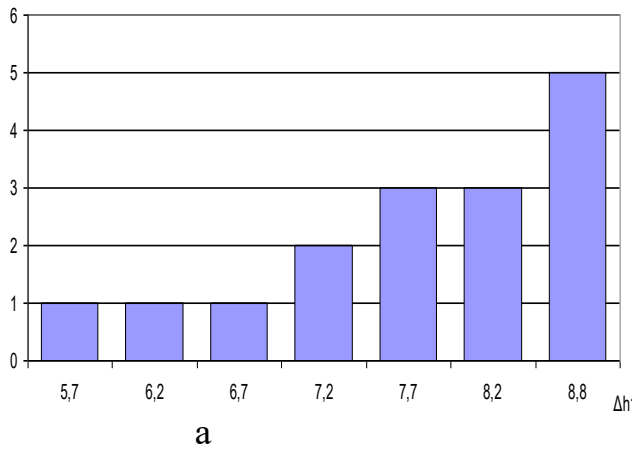
различных местах рабочей поверхности. В свою очередь сравнительно небольшие значения V (таблица 9) говорят о высоких механических и триботехнических свойствах материала детали, которые адаптированы к условиям абразивного износа при проведении пахоты.

Таблица 9 – Средние значения износов и их коэффициенты вариации

Номер лемеха	Δh_1	Δh_2	Δh_3	Δh_4	Δh_5	Δh_7	Δh_{10}	Δh_{11}		
Среднее значение, \dot{X}	7,89	5,81	4,68	3,79	0,6	0,39	0,57	0,66		
коэфф. вариаций, V	0,087	0,044	0,059	0,251	0,208	0,712	0,032	0,179		
Номер лемеха	Δh_{12}	Δh_{13}	Δh_{14}	Δh_{15}	Δl_1	Δl_2	Δl_3	Δl_4	Δl_5	Δl_6
среднее значение, \dot{X}	0,84	1,59	2,28	6,08	48,95	48,22	42,21	7,65	3,71	30,18
коэфф. вариаций, V	0,064	0,021	0,041	0,033	0,346	0,230	0,090	0,556	0,276	0,871

Экспоненциальный закон распределения, характерный для износов Δh_1 , Δh_3 , Δh_4 указывает на превалирующее значение износов большой величины по толщине в данной области (рисунок 48, точки 1, 3 и 4), т.к. происходит истирание режущее-лезвийной части. Выпадение из этого ряда Δh_2 обусловлено, по-видимому, лучшим качеством материала, либо какими-то случайными характеристиками, тем не менее, отмечается смещение износов в большую сторону (рисунок 48 б).

Как следует из рисунка 48 б, д, ж, и, к, л, м распределение Δh_i по толщине, измеренных в точках 2, 5, 10, 12, 13, 15 подчиняется нормальному закону и рассеяние данных, оцениваемое коэффициентом вариации, не превышает 22% (таблица 9, точка 5 на рисунке 48). Рассеяние остальных результатов составляет 10 и меньше процентов и этим отмечается стабильность протекания изнашивания.



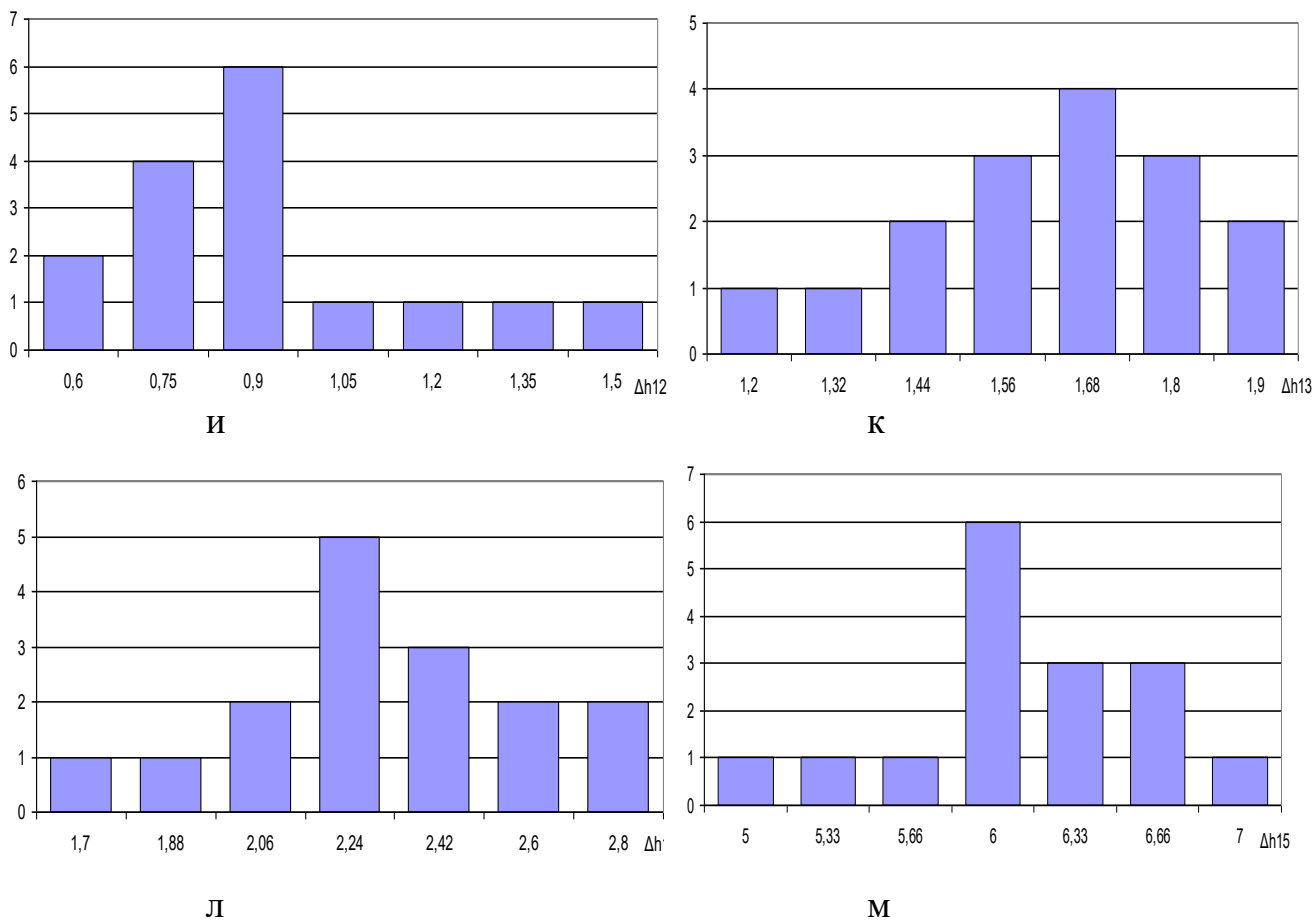


Рисунок 48 – Гистограммы распределения толщин лемеха Vogel & Noot (по абсциссе отложены износы Δh_i , мм; по ординате – частость)

Несколько не вписываются в общую картину распределения результатов износов, полученных в области крепления долота.

Данные по точкам 6, 8, 9 (рисунок 48 в анализе не приводятся из-за их чрезмерной малости. Такое положение связано с минимальным влиянием абразивной среды на изнашивание в данной области или его почти полное отсутствие, т.к. воздействие почвы воспринимается долотом.

В качестве примера приведена обработка опытных данных для точки 7, которая позволила установить, что их распределение подчиняется закону Пуассона. Результаты измерений отличаются высокими разбросами ($V=0,712$), указывающими на: некоторую нестабильность триботехнических процессов, ошибки измерений и скорее всего на нарушение размерной стабильности при производстве детали.

Наиболее важным показателем, который определяет наработку на отказ лемеха, является его остаточная ширина l_i и как производный от него фактор – величина износа Δl_i . Так как износом определяется работоспособное состояние изделия, поэтому будут, прежде всего, рассмотрены вопросы, связанные с потерей лемехом размеров, по ширине.

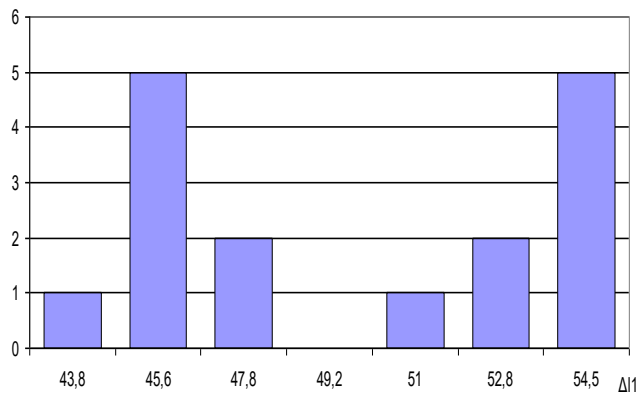
Статистическая обработка величин Δl_i , измеренных согласно схеме (рисунок 47), позволил выявить следующее: распределение Δl_1 , Δl_2 , Δl_3 не подчиняются известным в статистике законам распределения, они отвечают в примерном приближении полиномиальной функции (рисунок 49 а, б, в). В связи с этим для их математического анализа необходимо привлечение узких специалистов в данной области математики. Отмечаются ярко выраженные краевые условия износов по ширине (рисунок 49 а, б, в), т.е. имеет место склонность к высокой повторяемости их малых и больших значений. Отсюда следует, что средний показатель вряд ли может служить статистической характеристикой полученных данных и поэтому оценивать Δl_i следует, прежде всего, по их минимальным и максимальным величинам.

Анализ износов для l_4 , l_5 , l_6 не будет отражен в отчете по причине их малости и не оказывая ими какого-либо существенного влияния на технологический процесс восстановления лемеха.

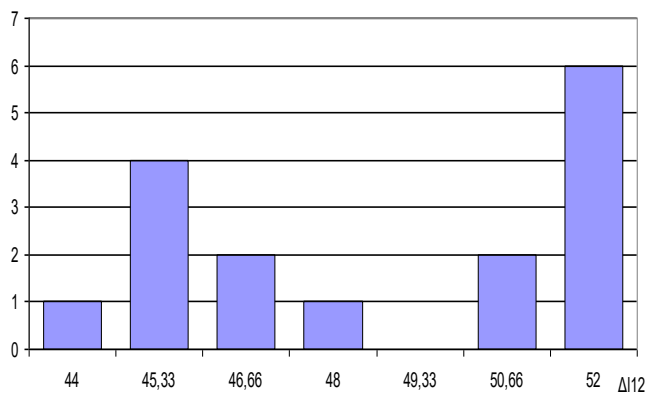
Следуя таблице 9 можно заметить необоснованно высокие значения Δl_6 . Они связаны с неправильным использованием агрегата, когда пахота продолжается даже при полностью истертой режущей части долота и происходит изнашивание нижней области его крепления, что категорически недопустимо с точки зрения последующего восстановления и эксплуатации. Несомненно, этот факт окажет отрицательное влияние на долговечность лемеха.

Наряду с таким геометрическим показателем, как износ по ширине Δl_i значительную роль при разработке технологий восстановления будет играть и толщина Δh_i , т.к. уменьшение ее до определенной величины приведет к выбраковке лемеха или применению сложных способов реновации. В случае же замены режущей части на новую толщина вообще играет главную роль и опреде-

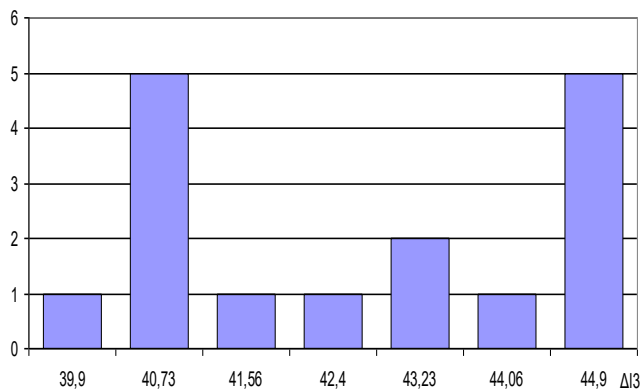
ляет возможность такой приварки. (Одна из возможных технологий, когда взамен изношенной режущей части может привариваться вставка.). Нужно отметить, что предельно допускаемая толщина лемехов отечественного производства составляет 5 – 6 мм. Такое ограничение, следует полагать, можно распространить и на импортные детали.



а



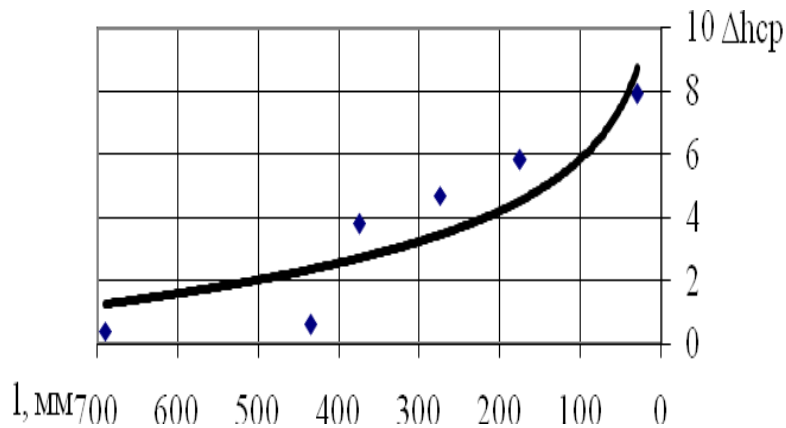
б



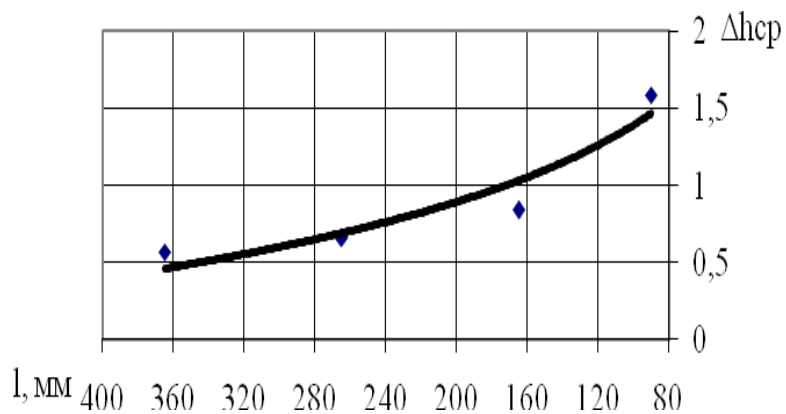
в

Рисунок 49 – Гистограммы распределения износов Δl_i по ширине лемеха (по абсциссе отложены износы Δl_i , мм; по ординате – частость)

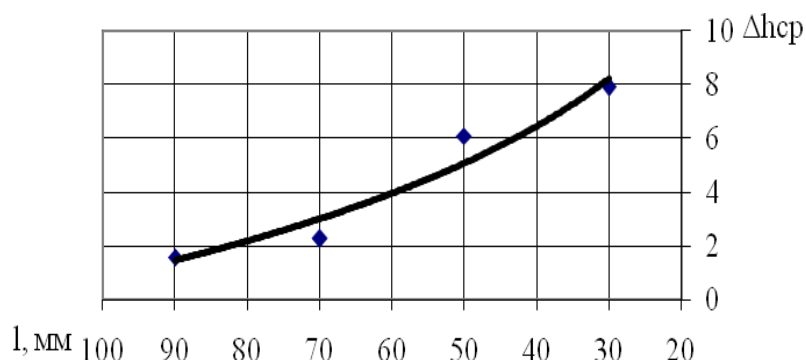
Поэтому изучалось изменение Δh_i на различных участках лемеха: в плоскости, близкой к режущей части (точки 1, 2, 3, 4, 5, 7); вдоль верхней привалочной стороны (точки 13, 12, 11, 10) и в плоскости пятки (точки 1, 15, 14, 13) (рисунок 50). Все точки измерения (кроме 7) расположены на острове (спинке) детали.



а



б



в

Рисунок 50 – Эпюры средних износов по толщине (Цифрами указаны точки измерения)

Распределение Δh_i по указанным плоскостям оценивалось путем построения соответствующих эюр (рисунок 51 а, б, в).

Данные эюры показывают, что максимальных значений износы по толщине достигают в районе пятки. Причем наиболее высокое значение Δh_i имеет место в точке 1, наиболее приближенной к режущему элементу детали и к заднему обрезу лемеха. Износ Δh_i в этой точке составляет около 8 мм. Оценка произведена по средней величине \dot{X} (таблица 9). Учитывая толщину режущей части изучаемого лемеха, равную 16 мм, можно сказать, что остаточный размер по h_i на этом участке близок к предельному.

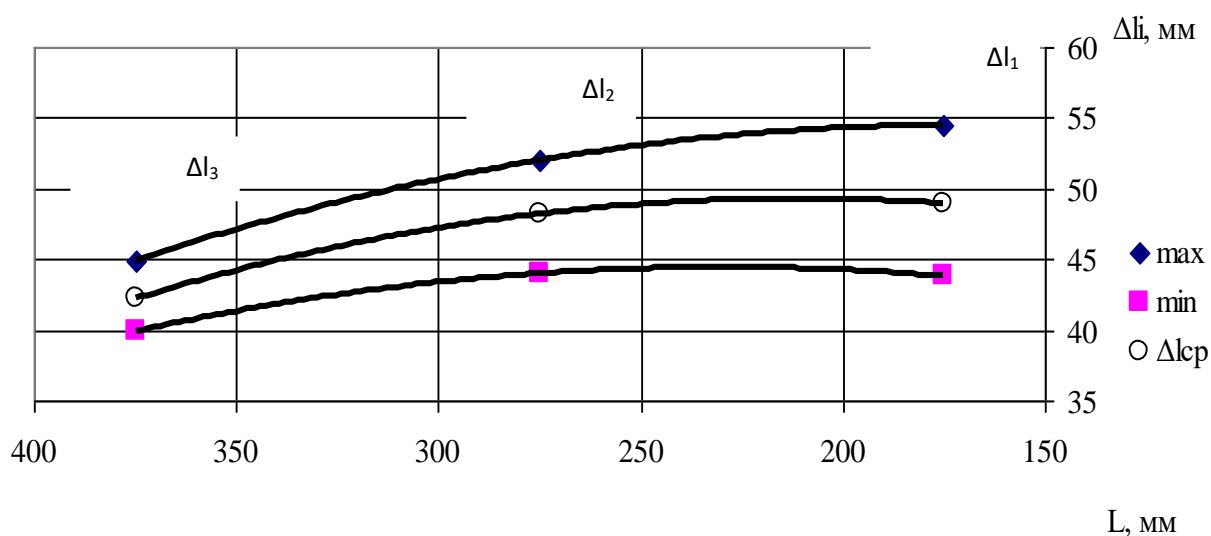


Рисунок 51 – Распределение максимальных, средних и минимальных износов ширины лемеха по его длине

Из характера эюр (рисунок 51а, б) следует, что по длине лемеха происходит уменьшение Δh_i по мере приближения к носовой части. Износы вдоль верхней плоскости (точки 13, 12, 11, 10) имеют значительно меньшую величину в сравнении с плоскостью, расположенной вдоль режущей части (точки 1, 2, 3, 4, 5, 7). В первую очередь это связано с большими давлениями почвы в нижней части изделия, и как следствие увеличением интенсивности изнашивания.

Эюра, построенная по точкам 1, 15, 14, 13, в принципе по своему характеру не отличается от таких же эюр, отмечающих изменение Δh_i вдоль лемеха, что также связано с перепадом давлений при пахоте.

Таким образом, наибольшие износы остова лемеха свойственны области

пятки и особенно ее нижней части в вертикальной плоскости. Вследствие этого при восстановлении необходимы меры по наращиванию поверхности до номинальной h_i . В противном случае повторное использование деталей после их восстановления приведет к истиранию данной области, и лемех станет непригодным к последующему ремонту либо применение операций по возобновлению ресурса будут сопряжено с дополнительными технологическими трудностями.

Теперь обратимся к анализу эпюр износов по ширине (рисунок 52). Износ лемеха по ширине характеризуется его ростом по мере приближения от области носовой части к области пятки. Максимальное Δl_i соответствует износу в точке 1 и составляет 55 мм, т.е. режуще-лезвийная часть в этом месте фактически полностью изношена и остаточная ширина составляет около 95 мм (при номинальном размере ширины 150 мм).

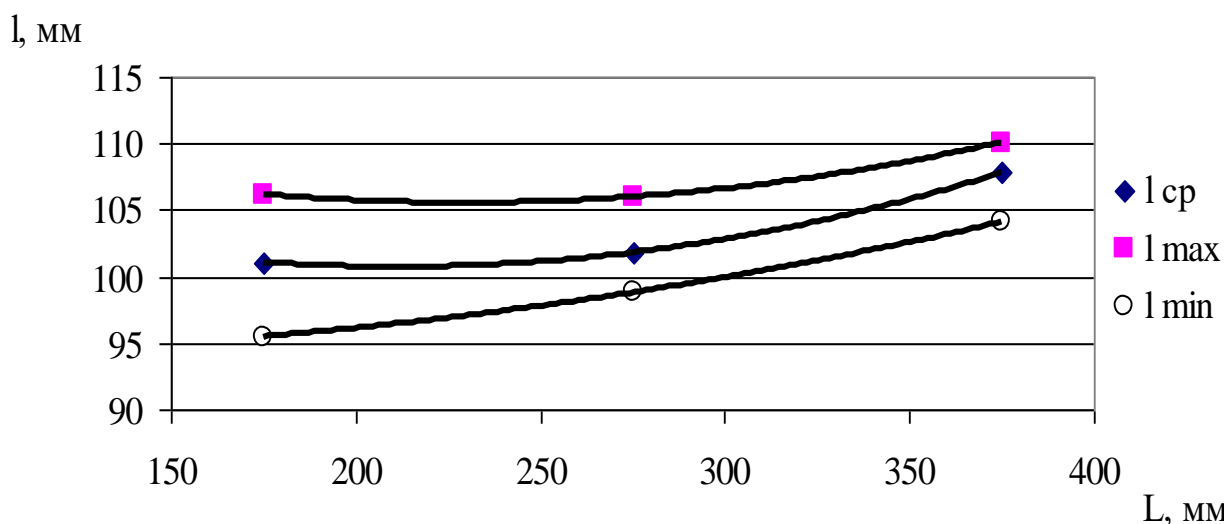


Рисунок 52 – Профиль износа нижней части изношенного лемеха Vogel&Noot

В результате проведенных измерений по ширине следует рекомендовать размер вставки (если применять метод вставок) – 60 мм.

Определенный интерес представляет изучение профиля износа по ширине, эпюры которого представлены на рисунке 53 как следует из эпюр в области, охватывающей переднюю часть детали, размеры l_i фактически не меняются. По мере приближения к пятке износ возрастает. Объяснение росту l_i лежит в увеличении давления почвы на данном участке.

Таким образом, проведенные измерения и их статистическая обработка позволили выявить следующее: максимальные износы по ширине составляют 55 мм и 8 мм по толщине и соответствуют области пятки; имеет место изменение износов Δl_i и Δh_i по длине лемеха от минимальных значений в области носка до максимальных в районе пятки.

4.2.2 Статистический анализ износов лемехов и долот фирмы Lemken

Статистический анализ износов лемехов позволит рационально подойти к разработке способов их восстановления, как и для лемехов компании Vogel&Noot.

Такие дефекты, как поломки и трещины, не подвергались изучению ввиду их нехарактерности и крайне низкой вероятности появления

Аналізу подвергались 28 лемехов, достигшие предельного состояния, и поэтому снятые с эксплуатации. За предельное состояние принимали полное истирание режущей части лемеха и режуще-лезвийной части долота. Этот процесс происходит одинаково для обеих деталей и завершается фактически одновременно, хотя в ряде случаев имеет место ускоренное изнашивание долота по отношению к лемеху.

Лемеха использовались при пахоте на полях одного хозяйства с площадью пашни около 4000 га. Почва преимущественно супесчаная и легкосуглинистая.

Наработка лемехов до утраты ими работоспособного состояния ($T_{пр}$) составила около 50 га на изделие. Такая наработка, следует полагать, связана с преобладанием супесчаных почв (наблюдения велись при нормальной влажности почвы).

Измерения износов осуществлялись по ширине лемеха в трех плоскостях (Δl_i) (рисунок 53).

В данном случае изучение износов и их характера проводилось по упрощенной схеме, т.к. ряд размеров, как показали предыдущие исследования, не оказывает сколько-нибудь существенного влияния на предельное состояние детали.

Обработка результатов измерений также проводилась с помощью программы Excel на персональном компьютере.

Как отмечено выше, наиболее важным показателем, который определяет наработку на отказ лемеха, и служит критерием восстанавливаемости, является его остаточная ширина l_i и как производный от него фактор – величина износа Δl_i . (Обработка осуществлялась с помощью такого критерия, как вероятность P_i появления случая - l_{i+1}).

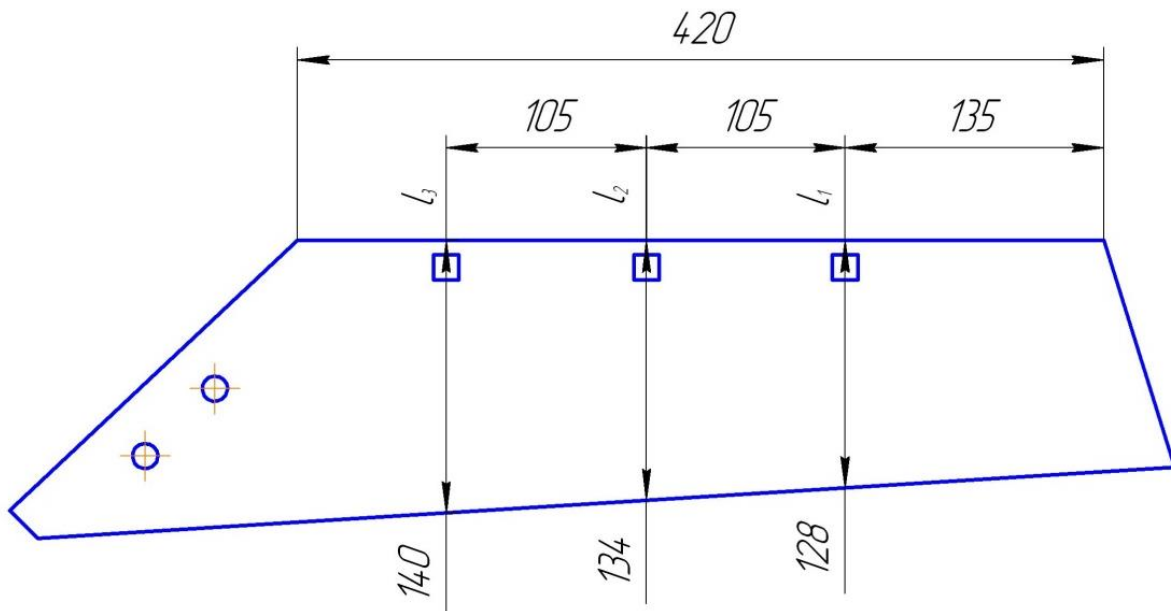


Рисунок 53 – Схема измерений лемеха фирмы Lemken для определения износов

Статистическая обработка величин l_i , измеренных согласно схеме (рисунок 54), позволил выявить следующее: распределение l_1, l_2, l_3 не подчиняются известным в статистике законам распределения, они отвечают в примерном приближении экспоненциальной функции (рисунок 55 а, б, в). Отмечаются ярко выраженные крайние условия остаточных размеров по ширине (рисунок 55 а, б, в), т.е. имеет место склонность к высокой повторяемости больших износов. Таким образом, математическое ожидание вряд ли может служить статистической характеристикой среднего значения полученных данных и поэтому оценивать l_i следует, прежде всего, по их минимальным величинам. Кроме того, это связано с тем, что они обеспечивают максимальные износы.

Статистическая обработка величин износов Δl_i , позволила выявить, что: распределение $\Delta l_1, \Delta l_2, \Delta l_3$ подчиняются с некоторым приближением закону Пуассона (рисунок 55 а, б, в).

Как следует из рисунка наиболее вероятны износы небольших величин от 7.7 мм до 15.3 мм. Однако, крайним условием в данном случае следует считать максимальную величину износа, составляющую 33 мм, т.к. она определяет возможность реставрирования детали. Более того, по мере приближения к области крепления долота вероятность появления увеличенных износов возрастает (рисунок 55 в) и достигает 16%.

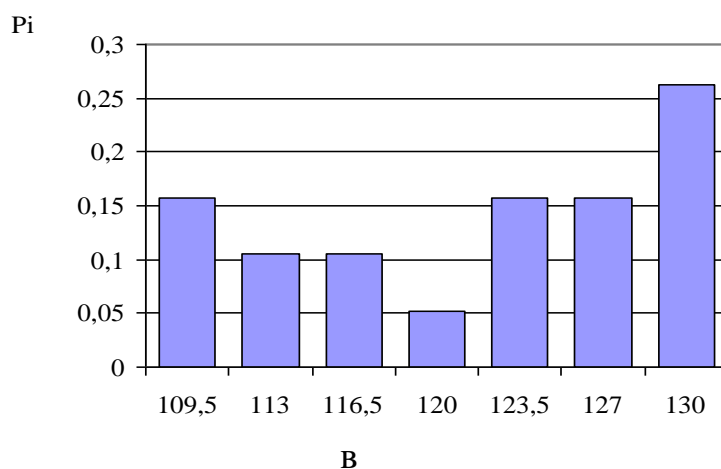
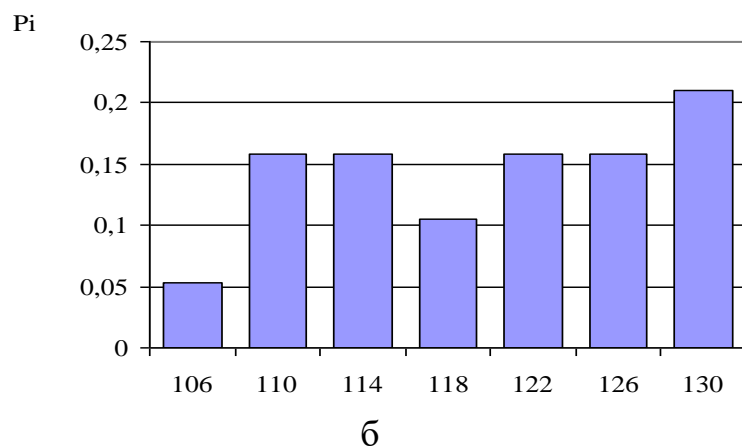
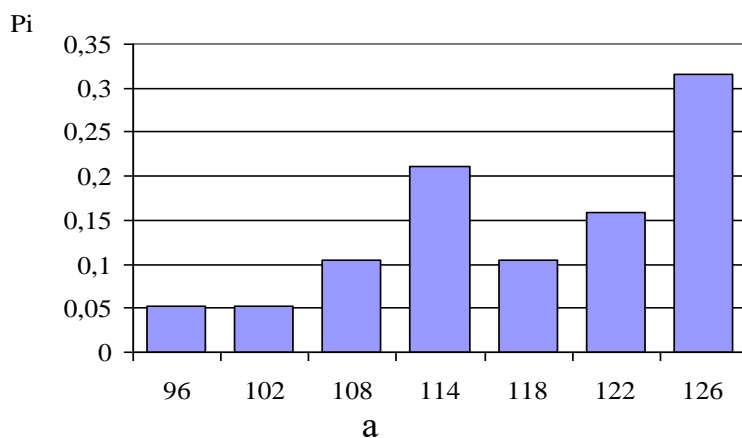


Рисунок 54 – Гистограммы распределения размеров l_i по ширине лемеха (по абсциссе отложены размеры l_i , мм; по ординате – вероятность)

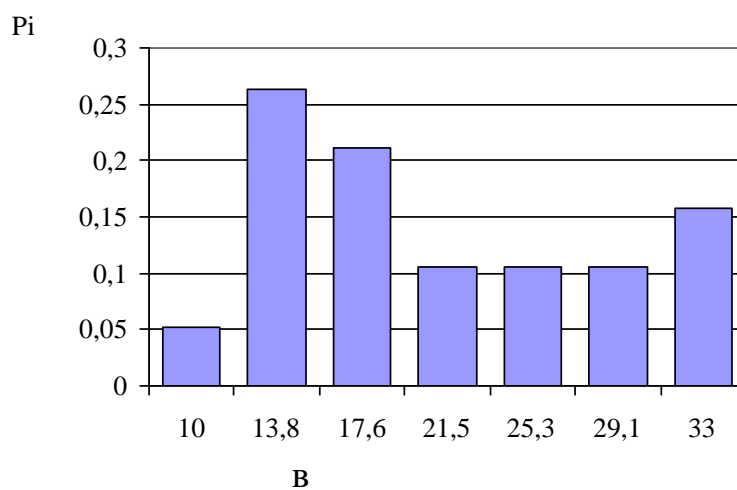
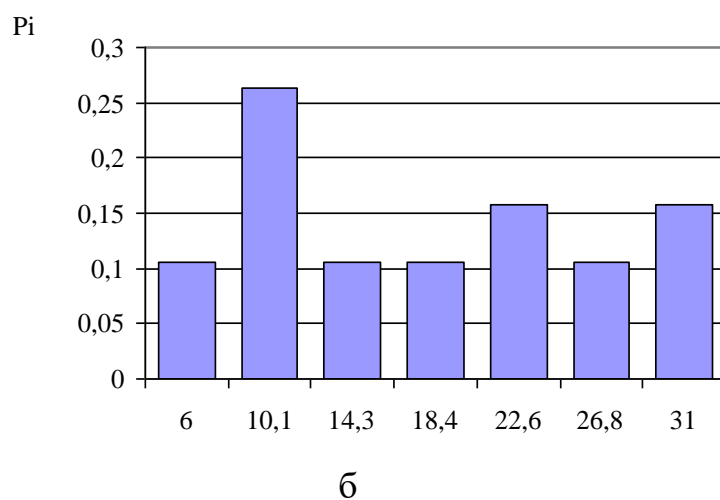
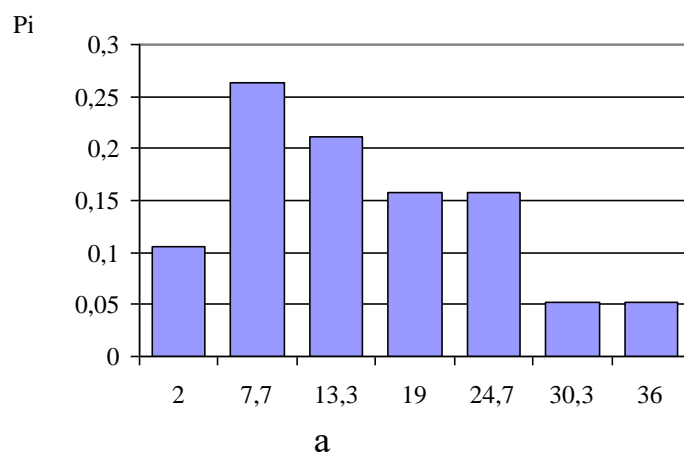


Рисунок 55 – Гистограммы распределения износов Δl_i по ширине лемеха (по абсциссе отложены износы Δl_i , мм; по ординате – вероятность)

Значительный интерес представляет изучение профиля лемеха по его ширине, эпюры которого представлены на рисунке 55. В отличие от аналогичных

эпюр, построенных для лемехов фирмы Vogel&Noot, где различия между максимальными, средними и минимальными размерами не велики, для описываемых лемехов разница между указанными параметрами может достигать до 30 мм. Согласно построенным эпюрам в области, охватывающей переднюю часть детали, размеры l_i фактически не меняются. По мере приближения к пятке износ возрастает, что имеет и для деталей производства фирмы Vogel&Noot. Однако, отмечается, что максимальное изменение размеров изделия между его пяткой и носком имеет место относительно минимальных значений (рисунок 56).

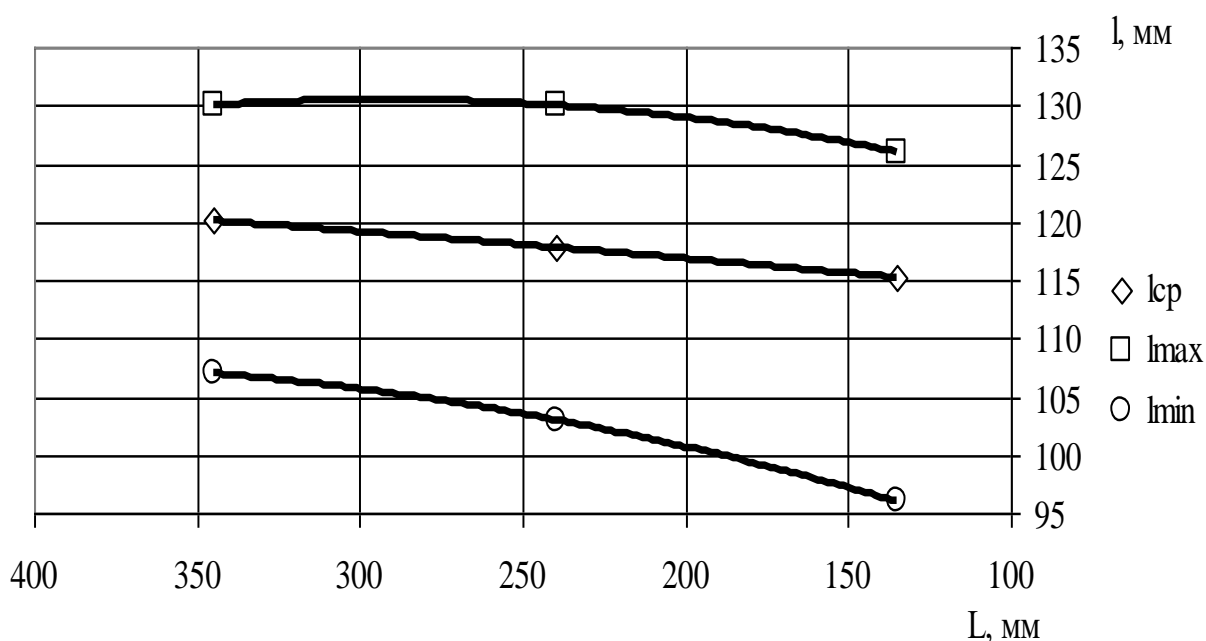


Рисунок 56 – Профиль износа нижней части лемеха Lemken

Проанализируем эпюр износов по ширине (рисунок 58). Анализ проводится по его максимальным, средним и минимальным значениям. Среднее значение Δl_i отличается от других тем, что имеет наибольшую разницу между областями пятки и носка. Износ лемеха по ширине характеризуется его ростом по мере приближения от области пятки к области носовой части. Это несколько не согласуется с общепринятым характером износа и связано с большим размером l_3 по сравнению с l_1 (рисунок 56). Тем не менее, при восстановлении нужно ориентироваться на размер пятки (рисунок 57) с учетом размеров носка, т.к. ремонтная вставка должна представлять форму трапеции.

Δl ,

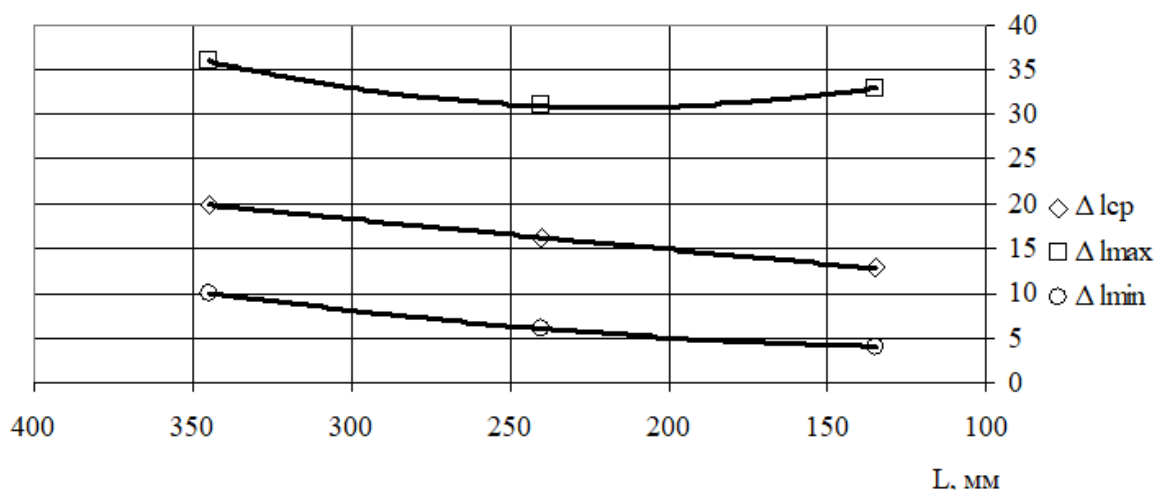


Рисунок 57 – Распределение максимальных, средних и минимальных износов ширины лемеха по его длине

Износы долот фирмы Lemken в отличие от фирмы Vogel&анализируются детально из-за возможности проведения восстановительных работ. Это обусловлено их конструкцией, обеспечивающей более раннее изнашивание режуще-лезвийной части (1) по отношению к крепежному элементу (2) (рисунок 58).

Проведем статистический анализ линейных размеров изношенных долот. Для этого использовались 16 долот, которые эксплуатировались с теми же лемехами, рассмотренными выше (остальные 12 долот не вошли в анализ по причине их утери или поломки). Замеры проводились в пяти плоскостях (рисунок 59).

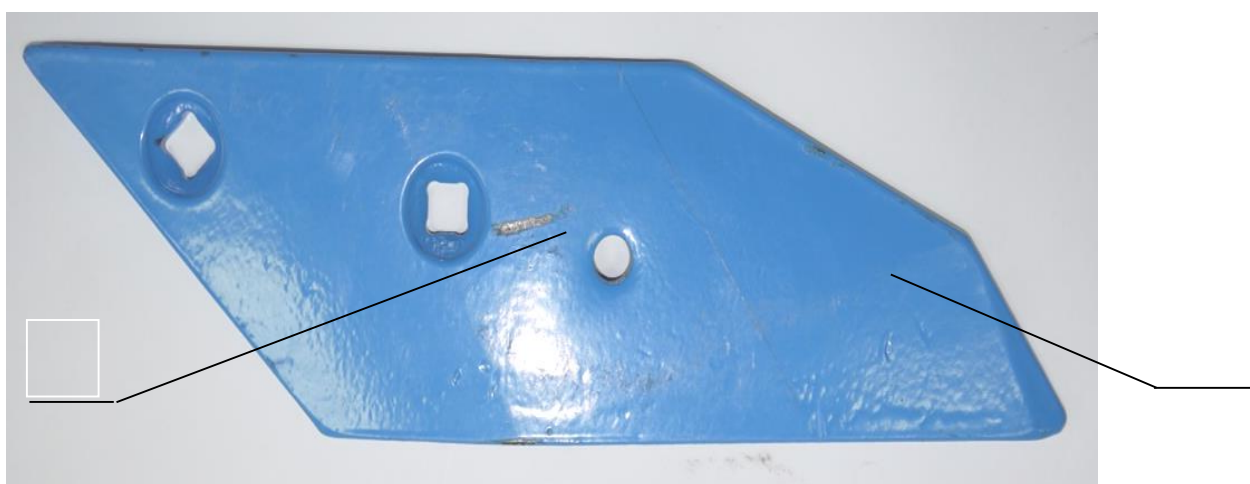


Рисунок 58 – Долото фирмы Lemken в состоянии поставки

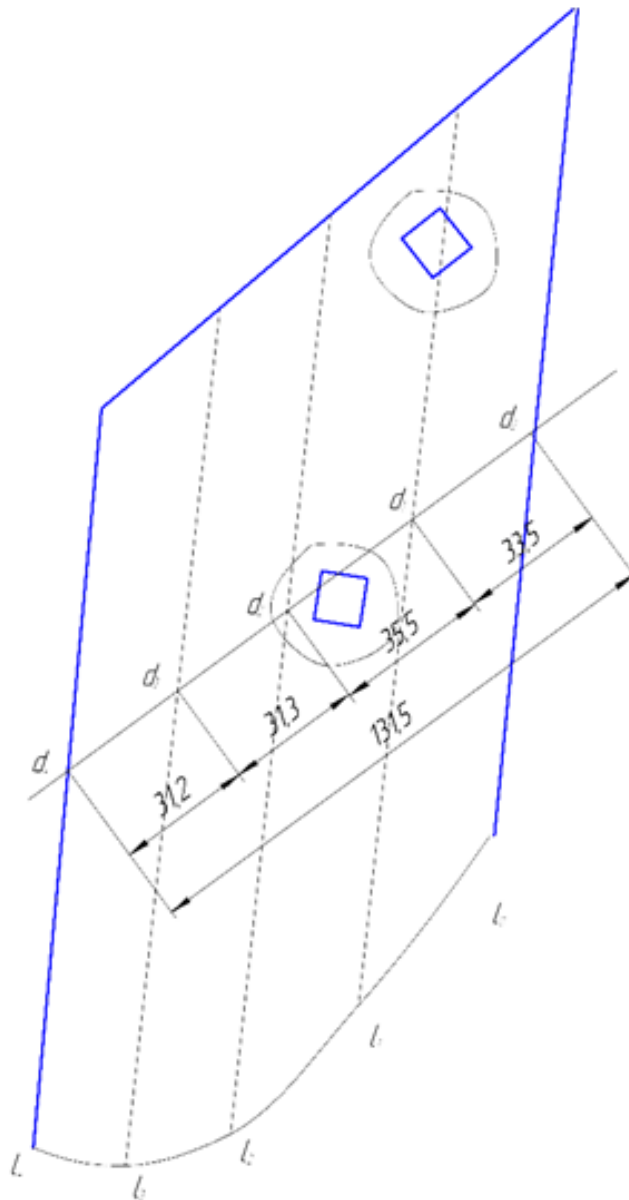


Рисунок 59 – Схема измерений долота фирмы Lemken

За предельное состояние долот принято полное истирание режущей лезвийной части.

Расстояние между плоскостями измерений выбиралось таким образом, чтобы произвести полный охват периметра износа.

Статистический анализ и построение профилей проводился по той же методике, что и для лемехов (таблица 10).

Прежде всего, это обусловлено конструкцией лезвийной части (рисунок 58), которая имеет форму прямоугольной трапеции, где одно из оснований является лезвием.

Таблица 10 – Параметры статистической обработки линейных размеров долот

Параметры	l_0	l_1	l_2	l_3	l_4
Среднее значение линейного размера	188,9	204,1	207,6	194,9	169,2
Среднее квадратическое отклонение	1,937	3,785	4,887	6,098	7,461
Коэффициент вариации V	0,01	0,019	0,024	0,031	0,044
Минимальное значение линейного размера	185,7	197,9	200,7	187,5	156,6
Максимальное значение линейного размера	191,8	211,9	219	208,1	182,3

Имеет место уменьшение среднего квадратического отклонения от заглубляющей области к области стука с остовом лемеха, т.е. от l_4 к l_0 . Аналогичным образом ведет себя и коэффициент вариации V (рисунок 60). Так, для плоскости 4 (l_4) он составляет 0,044, тогда как для плоскости 0 (l_0) – 0,010. Превышение составляет в 44 раза и указывает на значительно большее рассеивание опытных данных для плоскости 4. Это связано с большим количеством факторов, влияющих на параметр l_4 в сравнении с l_0 .

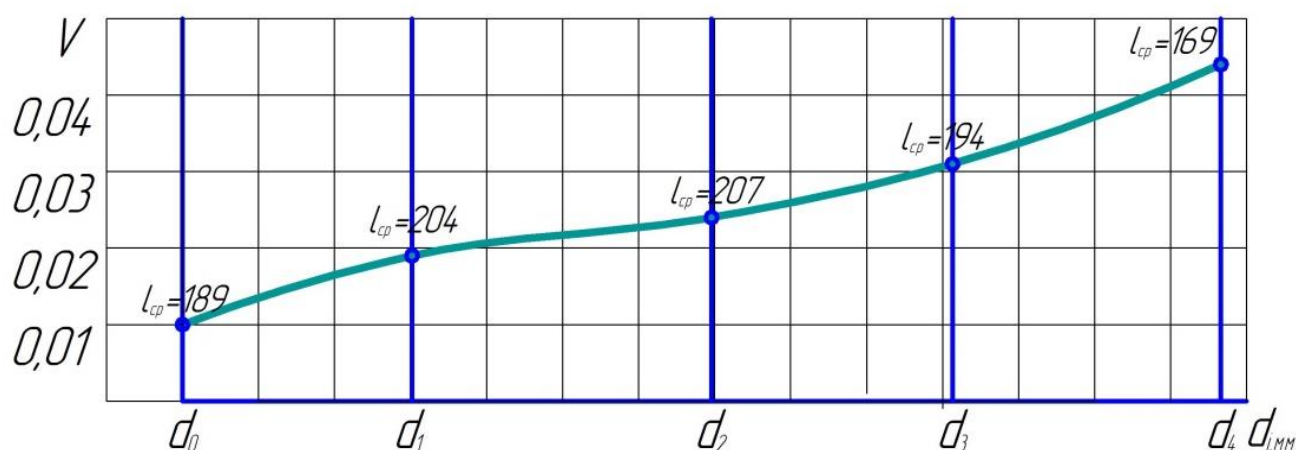


Рисунок 60 – Изменение коэффициента вариации для линейных размеров по плоскостям измерений

Результаты, отображенные в таблице 11, показывают, что линейные размеры по ширине долота неравномерны (оценка дана по средним значениям).

Таблица 11 - Параметры статистической обработки износов долот

Параметры	Δl_0	Δl_1	Δl_2	Δl_3	Δl_4
Среднее значение износов	21,23	41,34	57,38	61,07	64,8
Среднее квадратическое отклонение	1,944	3,861	4,887	6,098	7,461
Коэффициент вариации V	0,092	0,093	0,085	0,1	0,115
Минимальные значения износов	18,3	33,4	46	47,9	51,7
Максимальные значения износов	24,4	47,4	64,3	68,5	77,4

Исходя из теории математической статистики, все распределения подчиняются нормальному закону (рисунок 61), т.к. коэффициент вариации не превышает 0,33. Более того, низкие значения V для всех l указывают на незначительные разбросы опытных данных.

Определенный интерес представляет рассмотрение преобладающих (наиболее часто повторяющихся значений l) по плоскостям измерений.

Наиболее вероятные числовые значения l ($l_0 = 188 - 189$; $l_1 = 204 - 206$; $l_2 = 206 - 209$) имеют тенденцию к росту. В свою очередь, начиная с плоскости три, имеет место уменьшение этих параметров ($l_3 = 190 - 193$; $l_4 = 160 - 167$). Причем для плоскости четыре наблюдается несколько больший разброс данных относительно других показателей.

Максимальные частоты колеблются от 4 до 6, что составляет вероятность от 25 до 38%.

Следующим этапом исследований является рассмотрение износов. Износы определялись как разность между начальным размером и его остаточным размером, измеренным для каждой плоскости. Статистика износов проводилась для тех же долот, что и при анализе линейных размеров. Таблица 11 показыва-

ет, что износ по ширине долота происходит неравномерно (оценка по средним значениям), и обусловлено спецификой конструкции режущей части (рисунок 62), аналогично линейным размерам.

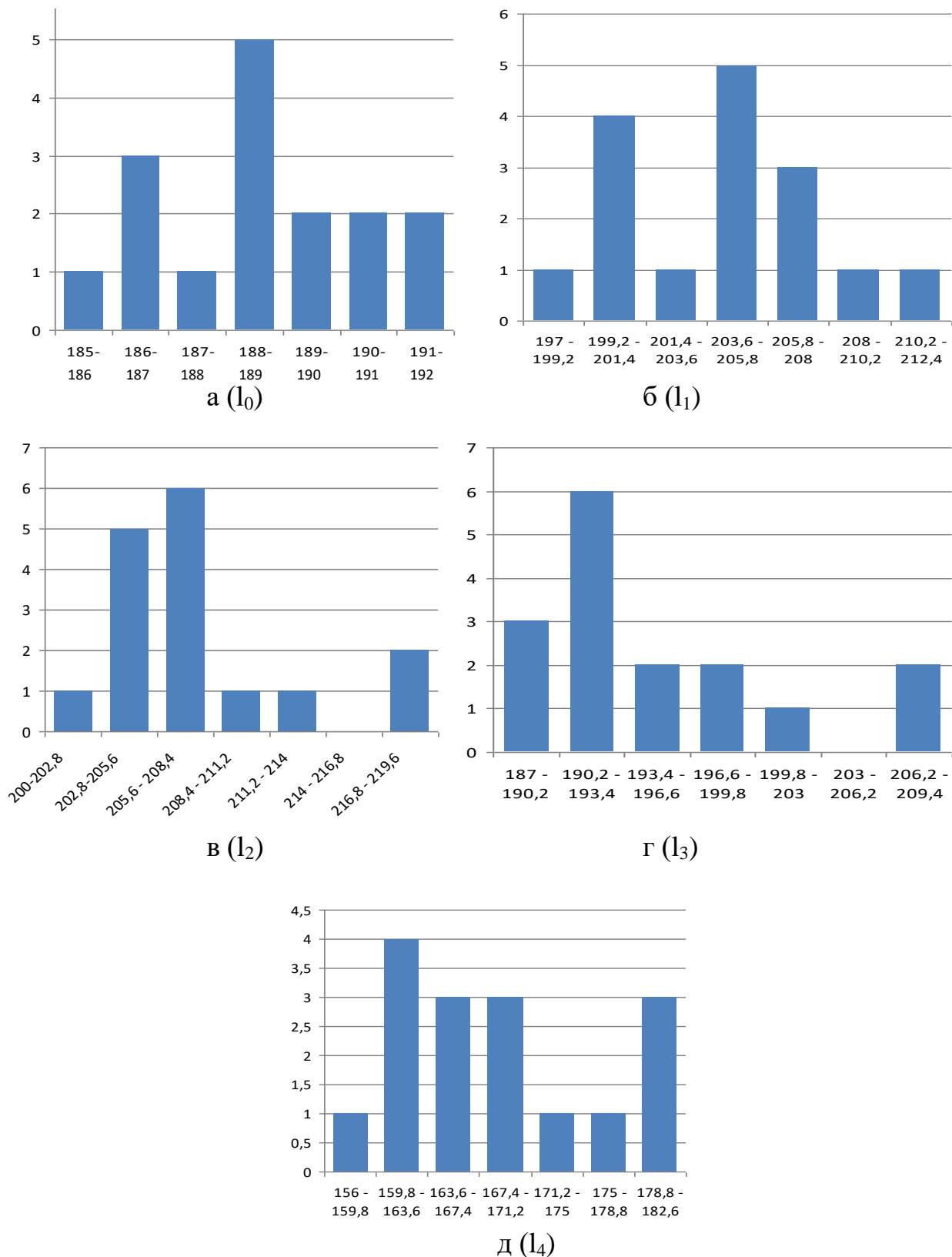


Рисунок 61 – Гистограммы распределения линейных размеров долот

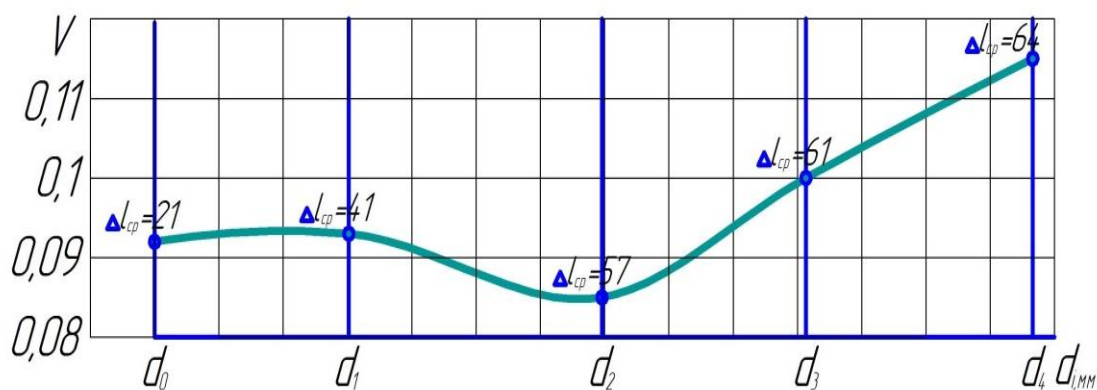


Рисунок 62 - Изменение коэффициента вариации для износов долот по плоскостям измерений

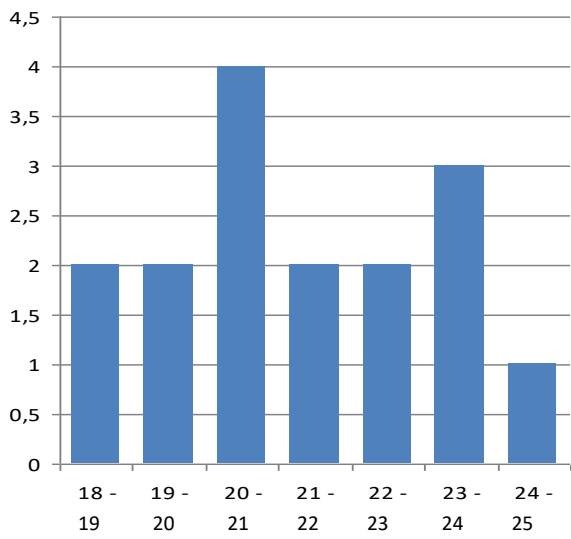
Данные показывают (таблица 11) увеличение среднего квадратического отклонения от задней части долота к его заглубляющей области, т.е. от l_0 к l_4 . Подобным образом ведет себя и коэффициент вариации V . Так для плоскости 0 (l_0) он составляет 0,092, тогда как для плоскости 4 (l_4) – 0,115. По-видимому, это связано: первое – с большими давлениями почвы на данную зону; второе – с увеличенными вибрациями заглубляющей части вследствие ее большего вылета; третье – со сравнительно высокой вероятностью попадания в нехарактерные включения, находящиеся в почве.

Так же, как и для случая l_i и базирясь на теории математической статистики, все распределения подчиняются нормальному закону (рисунок 63), т.к. коэффициент вариации не превышает 0,33. Следует отметить, что большие значения коэффициентов вариации для износов ($l_i - V$ максимальное составляет 0,044; $\Delta l_i - V$ максимальное составляет 0,115) указывают на увеличение разбросов полученных результатов. Хотя в целом они не велики и не превышают 1,15%.

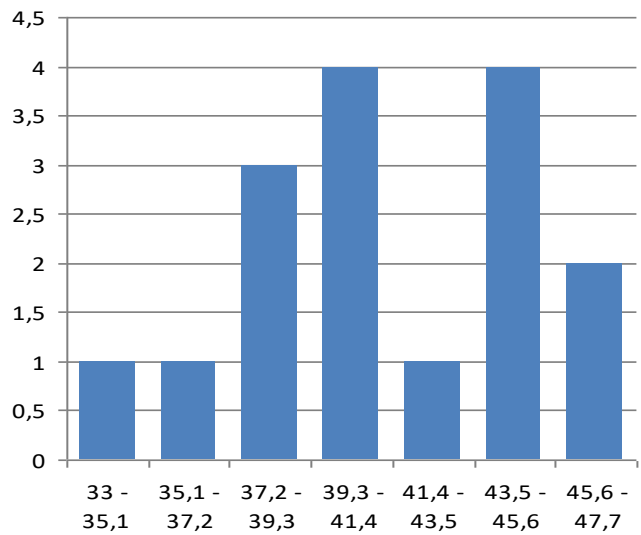
Значительный интерес представляет рассмотрение характерных (наиболее часто повторяющихся значений Δl) по плоскостям измерений.

Наиболее вероятные числовые значения Δl ($\Delta l_0 = 20 - 21$; $\Delta l_1 = 39 - 41$; $\Delta l_1 = 43 - 45$; $\Delta l_2 = 57 - 59$; $\Delta l_3 = 62 - 65$; $\Delta l_4 = 70 - 73$) имеют тенденцию к росту.

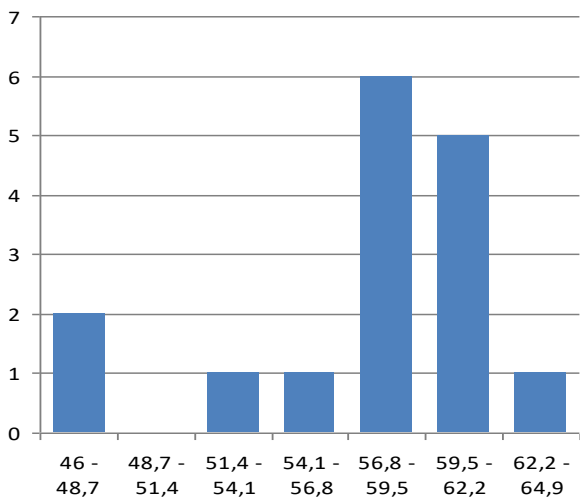
Согласно рисунку 63 максимальное значение частоты составляет 6 ($P_i = 38\%$) хотя наиболее характерна величина, равная 4 ($P_i = 25\%$).



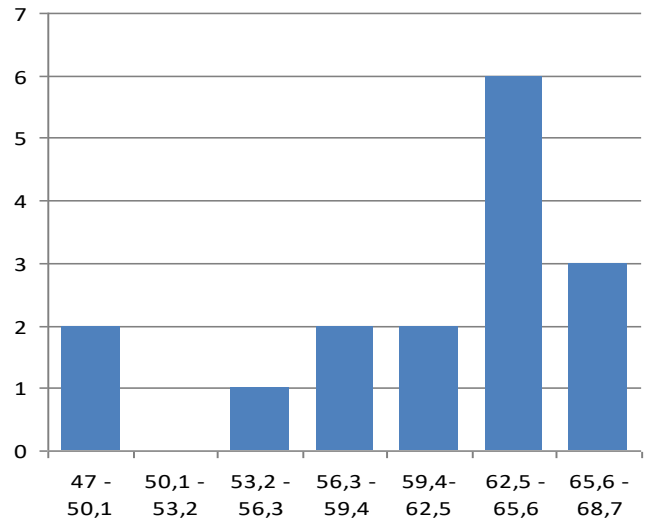
а (Δl_0)



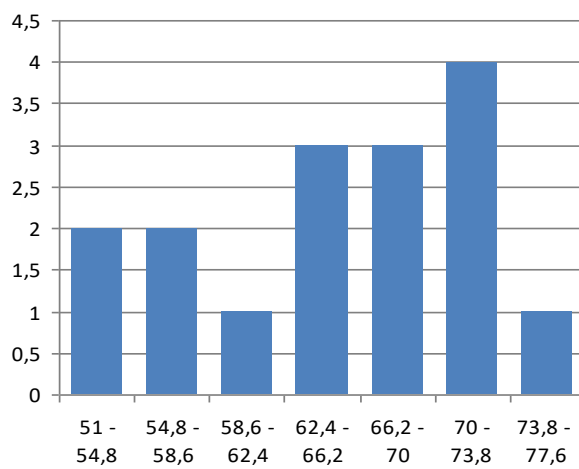
б (Δl_1)



в (Δl_2)



г (Δl_3)



д (Δl_4)

Рисунок 63 - Гистограммы распределения износов Δl_i долот

Рисунки 64 и 65 показывают, что износ заглабляющей части значительно превышает такой же показатель тыльной области. Графики на рисунке 66 говорят о трехкратном увеличении износа заглабляющей части в сравнении с тыльной. Нужно отметить более интенсивный рост износа от тыльной до средней части долота в сравнении с носовой областью. Это указывает на выравнивание величин износов по нижней линии режущей части в процессе эксплуатации.

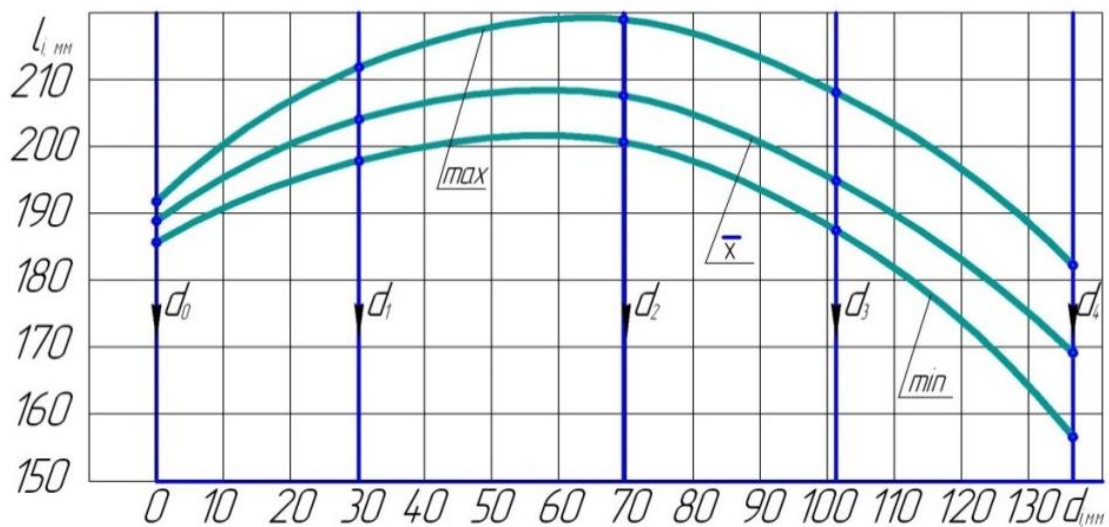


Рисунок 64 - Эпюры размеров профилей изношенных долот

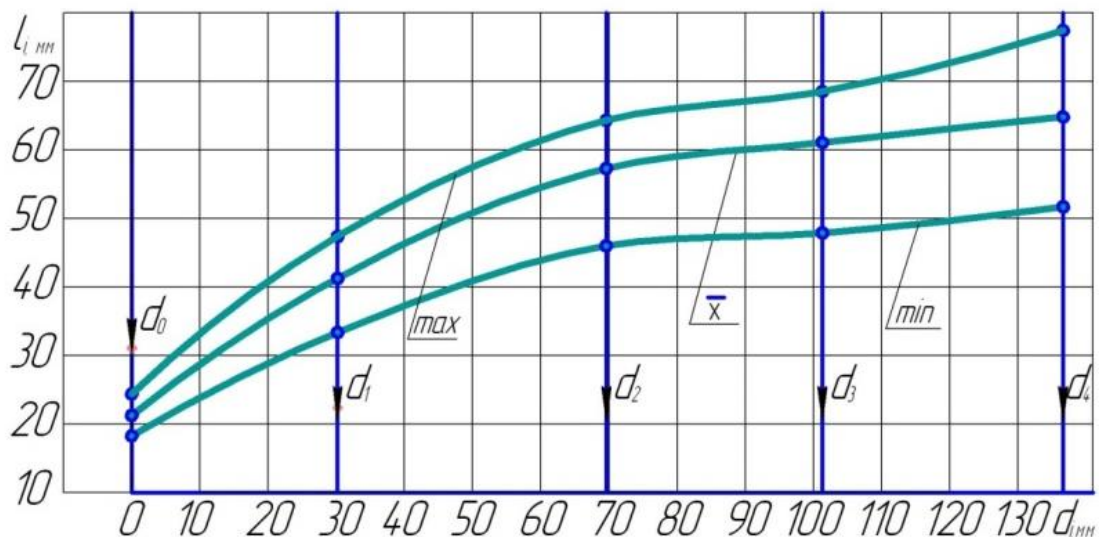


Рисунок 65 - Эпюры износов

4.2.3 Статистический анализ дефектов лемехов компании Kverneland Group

Статистический анализ износов лемехов компании Kverneland Group проводился по двум параметрам: остаточная толщина лемеха, измеренная в 10 точках (Δt_i), охватывающих спуску лемеха и область, прилегающую к режущей части; ширин, измеренная в трех плоскостях, базой которых являются крепежные отверстия (рисунок 66).

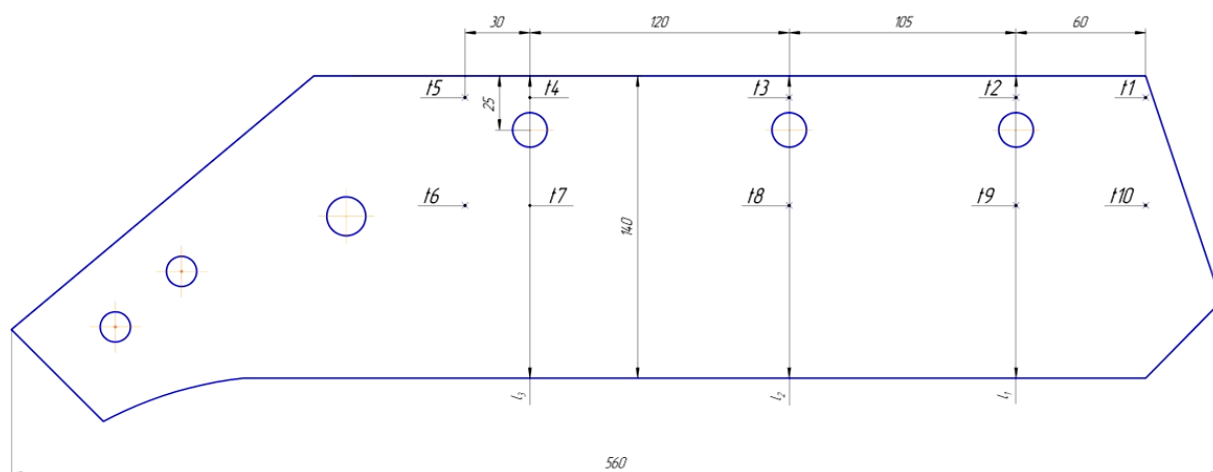


Рисунок 66 – Схема измерений лемеха компании Kverneland Group для определения износов

Визуальный анализ формы лемехов данной фирмы показал, что они весьма сложны пространственно (рисунок 67). Область крепления долота сформирована выпукло (выпуклость ориентирована на лицевую часть лемеха). Рабочая часть представляет собой винтовую поверхность. Нужно сказать, что в известных конструкциях лемехов, как зарубежного, так и отечественного производства подобной поверхности не наблюдалось.



Рисунок 67 - Лемех компании Kverneland Group в состоянии поставки

Поломки и трещины, не подвергались изучению ввиду их нехарактерности и крайне низкой вероятности появления (аналогично лемехам фирм Vogel & Noot и Lemken).

Аналізу подвергались 32 лемеха, достигшие предельного состояния, и поэтому снятые с эксплуатации. Предельное состояние определялось полным истиранием режущей части лемеха. Количество лемехов определялось наличием в хозяйстве двух 16-корпусных плугов.

Долото не исследовалось, т.к. оно не подлежит восстановлению в силу своей конструкции (долото двухстороннее).

Лемеха эксплуатировались при вспашке суглинистых почв.

Предельное состояние лемехов достигалось при наработке в объеме 70 га на изделие. Такая наработка связана с наличием суглинистых почв, которые имеют сравнительно невысокий коэффициент трения по стали.

Применительно к лемехам Kverneland Group использовался анализ, по рассмотренной ранее системе для изделий Vogel & Noot.

Проанализируем таблицы параметров статистической обработки (таблицы 12 и 13). Среднее значение толщин лемехов находится в диапазоне 6,4...8,3 мм, что позволяет сделать заключение о пригодности исследуемых лемехов к восстановлению. Известно, что допустимая толщина отечественных лемехов составляет не менее 5 мм. Толщина в различных точках лемеха является величиной не постоянной (таблица 12). Максимальная толщина соответствует точке 5 (рисунок 68), наиболее приближенной к области крепления долота. Это обусловлено меньшим давлением и временем контактирования почвы с поверхностью в этой зоне (наблюдается явление «рикошета» почвы).

Судя по значению коэффициентов вариации (таблица 12, рисунок 68), распределение остаточных толщин лемехов подчиняется нормальному закону. Однако, разница между максимальным и минимальным V составляет 0,142 единицы. Такой коэффициент вариации отмечает сложность процессов износа в различных областях лемеха, хотя они для всех Δt_i не велики (таблица 12) и указывают на незначительные рассеяния полученных результатов.

Сложность изнашивания связана (также как и для лемехов других производителей) с разнообразием гранулометрического состава почвы и непостоянством давлений в различных местах рабочей поверхности. Небольшие значения V (таблица 12) указывают на высокие механические и триботехнические свойства материала детали.

Таблица 12 - Параметры статистической обработки толщин лемехов

	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9	t_{10}
Среднее значение	6,37	6,98	6,88	7,36	8,43	7,56	8,01	8,34	8,32	7,48
Стандартное отклонение	0,62	0,29	0,64	0,63	0,8	0,44	0,45	0,13	0,49	1,37
Коэффициент вариации	0,097	0,041	0,093	0,085	0,094	0,058	0,056	0,015	0,058	0,183
Минимум	5,6	6,5	6	6,3	7,2	7,4	7,5	8,2	7,2	3,5
Максимум	7,6	7,5	8,2	8,3	9,7	9	9,2	8,6	9,3	8,5

Как следует из гистограмм (рисунок 68) наибольшая вероятность присутствия толщинам от 6,5 до 9 мм. Следует отметить, что изменение толщин в большую сторону наблюдается по мере приближения от области пятки к области крепления долота. Кроме того, в этом случае происходит смещение размеров вначале в большую сторону, затем, по мере приближения к носовой части, – в меньшую. По-видимому, такое положение связано с изменением давления почвы по длине лемеха.

Средние значения износов по толщине (таблица 13) уменьшаются по мере приближения от пятки к носовой части. В то же время Δt_{10} (рисунок 67) имеет несколько большую величину в сравнении с соседними значениями. Увеличение износов в этой точке объясняется наличием лучевидного износа с эллипсоидным профилем.

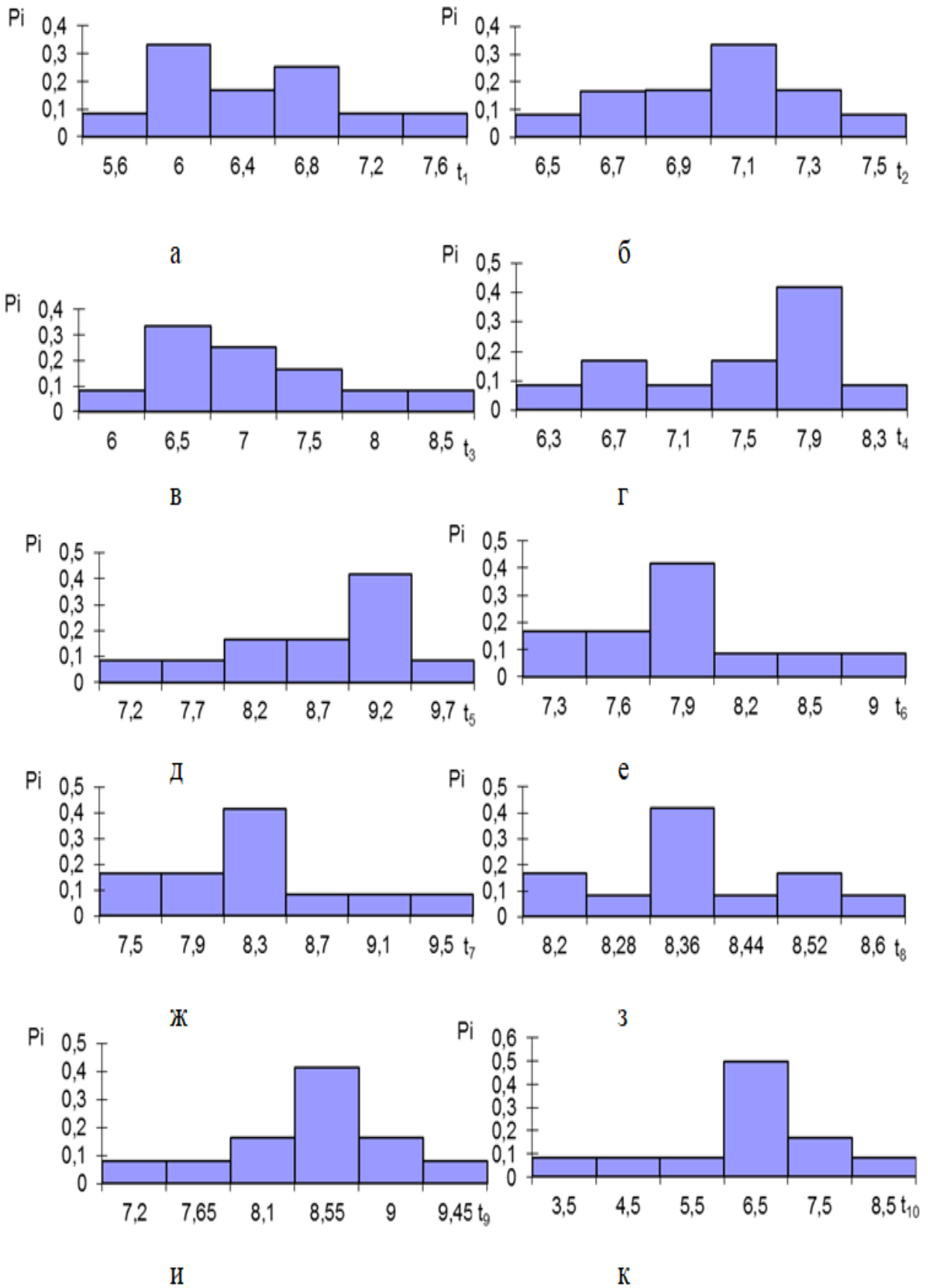


Рисунок 68 – Гистограммы распределения толщин лемеха Kverneland Group

Коэффициенты вариации (таблица 13) на порядок превышают аналогичное значение для остаточных толщин (таблица 12).

Таблица 13 - Параметры статистической обработки износов лемехов по толщине

	Δt_1	Δt_2	Δt_3	Δt_4	Δt_5	Δt_6	Δt_7	Δt_8	Δt_9	Δt_{10}
Среднее значение	5,13	4,48	4,58	4,13	3,08	1,64	1,59	1,26	1,28	2,12
Стандартное отклонение	0,62	0,33	0,64	0,63	0,8	0,44	0,42	0,13	0,49	1,37
Коэффициент вариации	0,121	0,073	0,139	0,152	0,259	0,268	0,264	0,103	0,382	0,646
Минимум	3,9	4	3,3	3,2	1,8	0,6	0,4	1	0,3	1,1
Максимум	5,9	5	5,5	5,2	4,3	2,2	2,1	1,4	2,4	6,1

Большинство V (от точки 1 до точки 8) указывают на нормальный закон распределения этих величин, т.к. они меньше значения 0,33 (рисунок 69 а, б, в, г, д, е, ж, з). Исключением является распределение в точке 1, судя по виду гистограммы распределения происходит по экспоненте (рисунок 69 а).

Величины коэффициента вариации для износов в точках 9 и 10 говорят о распределении этих величин по закону Вейбула-Гниденко (таблица 13).

Наиболее вероятные значения износов по толщине находятся в диапазоне от 1,3 до 5,9 мм. Такая неравномерность, прежде всего, связана с более высоким давлением почвы в области пятки по сравнению с областью, близкой к креплению долота.

Определенную роль в неравномерности распределения по длине лемеха наиболее вероятных величин износа играет специфика изнашивания, т.е. образование лучевидного износа в области носка. В свою очередь лучевидный износ образуется, как считает ряд авторов, из-за веерного перемещения почвы по рабочей поверхности, расположенной в районе крепления долота. Геометрические параметры этого дефекта, прежде всего, зависят от гранулометрического

состава почвы, а также от ее физического состояния (влажность, плотность, твердость и т.д.). И все же предельное состояние лемехов определяется полным износом режущей части.

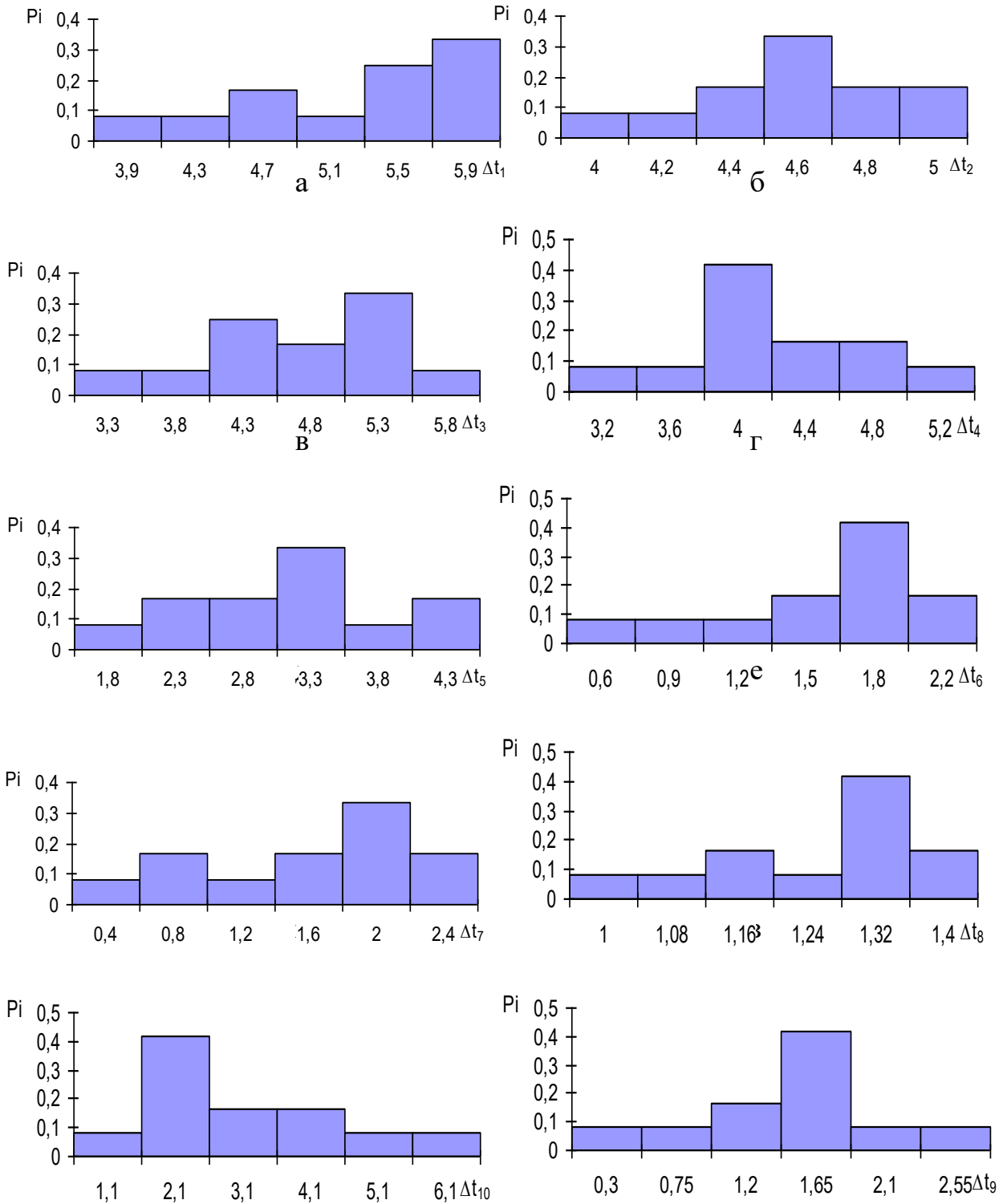


Рисунок 69 – Гистограммы распределения износов лемеха Kverneland Group по толщине

Как было сказано выше, показателем, который определяет наработку на отказ лемеха, и служит критерием восстанавливаемости, является его остаточная ширина L_i и как производное – величина износа ΔL_i .

Сводная таблица статистических показателей (таблица 14) позволяет проанализировать изменения средних значений, среднеквадратического отклонения и коэффициентов вариации.

Таблица 14 – Статистические показатели изменения размеров и износов по ширине лемеха

	L_1	L_2	L_3	ΔL_1	ΔL_2	ΔL_3
\bar{x}	99,61	104,89	111,26	43,38	38,1	31,73
σ	17,99	15,11	11,83	17,99	15,11	11,83
v	0,17	0,14	0,1	0,41	0,39	0,37

Средние значения, приведенные в таблице 14, показывают на увеличенный износ лемехов в области пятки (L_3 и ΔL_3) и это хорошо согласуется с ранее проведенными измерениями для лемехов фирм Vogel&Noot и Lemken. Объяснения такому явлению так же находится в увеличенном давлении почвы в данной области.

Исходя из значений коэффициентов вариации (таблица 14) можно сделать вывод об увеличении рассеяния опытных данных в той же области, указывающие на снижение стабильности изнашивания. Такой факт предусмотрен конструкторами, и заднее крепежное отверстие максимально приближено к бороздному обрезу (рисунок 68), чтобы уменьшить влияние консоли.

Компьютерная (программа Excel) обработка величин L_i , измеренных по схеме (рисунок 66), выявила следующее: распределения L_1 , L_2 , L_3 подчинены в первом приближении экспоненциальной функции (рисунок 70 а, б, в).

Имеет место ярко выраженная максимальная вероятность P_i появления больших износов. Причем такая вероятность для всех размеров составляет примерно 0,28. Наиболее распространенное значение вероятности составляет

0,14. Характерными также являются вероятности 0,21 и 0,07. В результате анализа можно сказать, что математическое ожидание вряд ли может служить статистической характеристикой, имеющей практическое применение, и поэтому оценивать остаточную ширину следует, прежде всего, по их минимальным величинам, т.к. это связано с тем, что они обеспечивают максимальные износы.

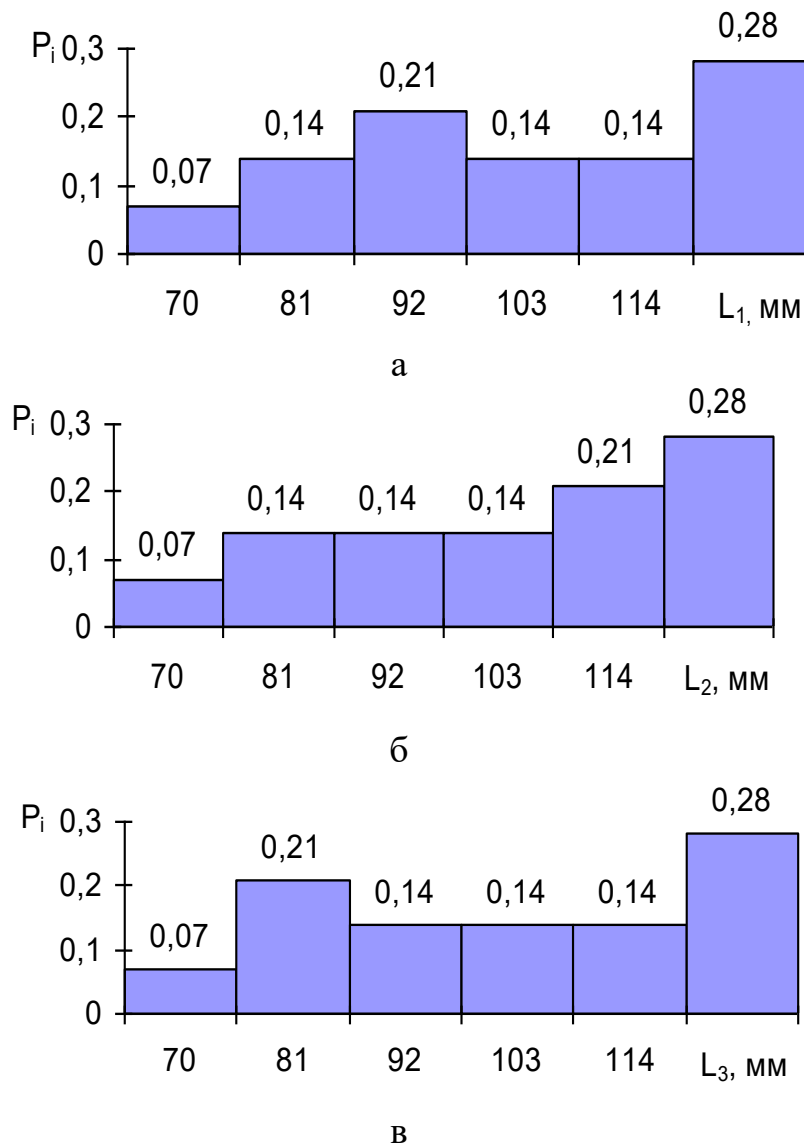


Рисунок 70 – Гистограммы распределения размеров L_i по ширине лемеха

Статистическая обработка величин износов ΔL_i , позволила выявить, что: распределение ΔL_1 , ΔL_2 , ΔL_3 подчиняются с некоторым приближением закону Пуассона (рисунок 71 а, б, в), что, видимо, является закономерным, т.к. аналогичное распределение характерно и для лемехов фирмы Lemken.

Так же как и для ранее изученных лемехов, наиболее вероятны износы небольших размеров от 22 мм до 32 мм. Хотя эти износы значительно превышают минимальные износы у других лемехов. Скорее всего, это связано с превышением норм эксплуатации по наработке.

Однако, на практике при разработке технологий восстановления следует использовать значение максимального износа, вследствие того, что по данному размеру будет определяться величина вставки, и он составляет 80 мм. По мере приближения к области крепления долота вероятность появления малых износов возрастает (рисунок 71) и достигает около 60%.

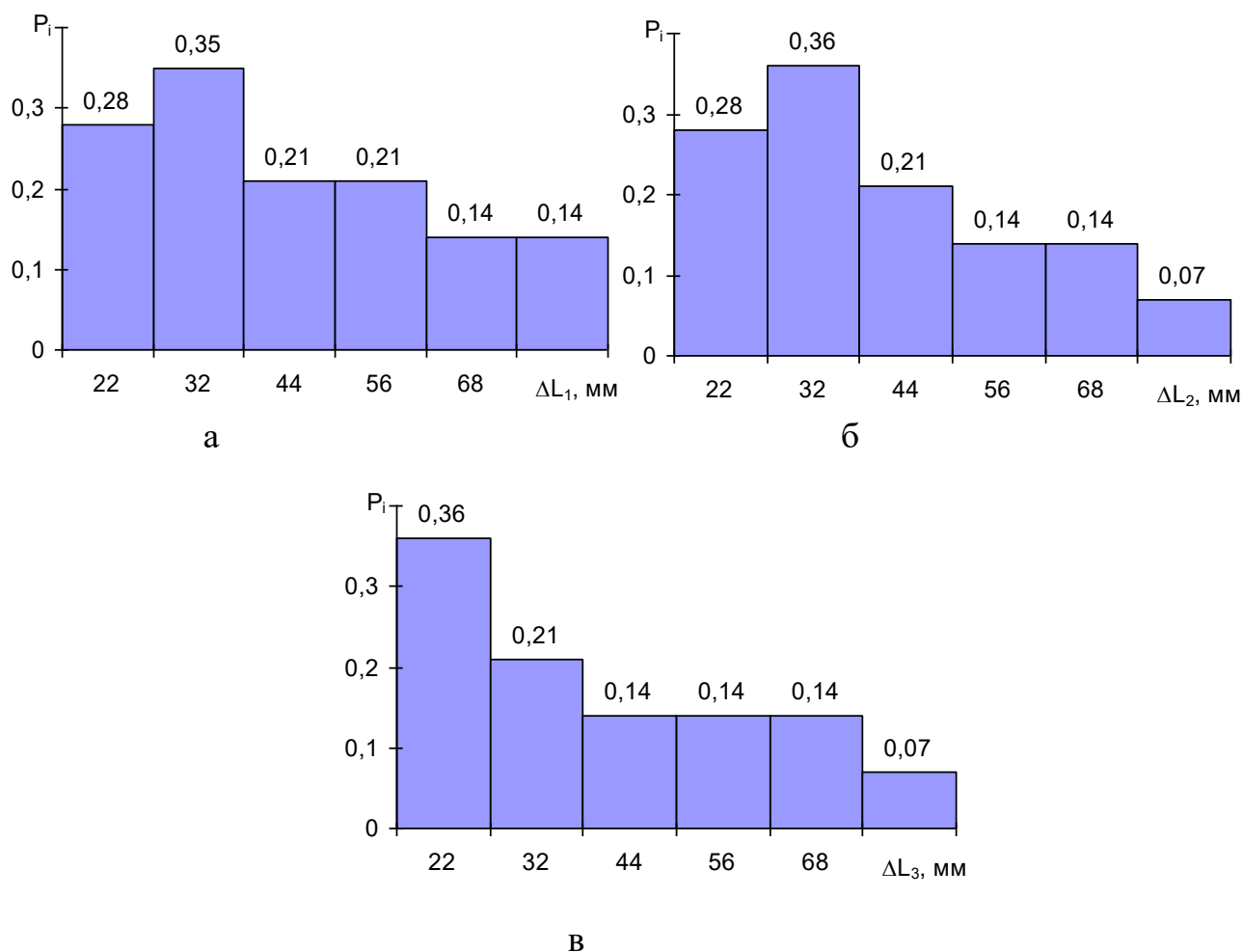


Рисунок 71 – Гистограммы распределения износов ΔL_i по ширине лемеха

Определенный интерес представляет изучение профиля и износов лемеха по его ширине и толщине, эпюры которых представлены на рисунках 72-75. В целом они повторяют описанные выше закономерности. Однако, есть и некото-

рые отличия. Так толщина лемеха в области, близкой к креплению, резко падает (рисунок 72, 73) из-за наличия лучевидного износа с эллипсоидным профилем. Такое явление не является характерным для большинства лемехов производства зарубежных фирм. Проявление этого износа, по-видимому, связано со сложной пространственной геометрией рабочей поверхности лемеха и высокими давлениями почвы в отмеченной части лемеха.

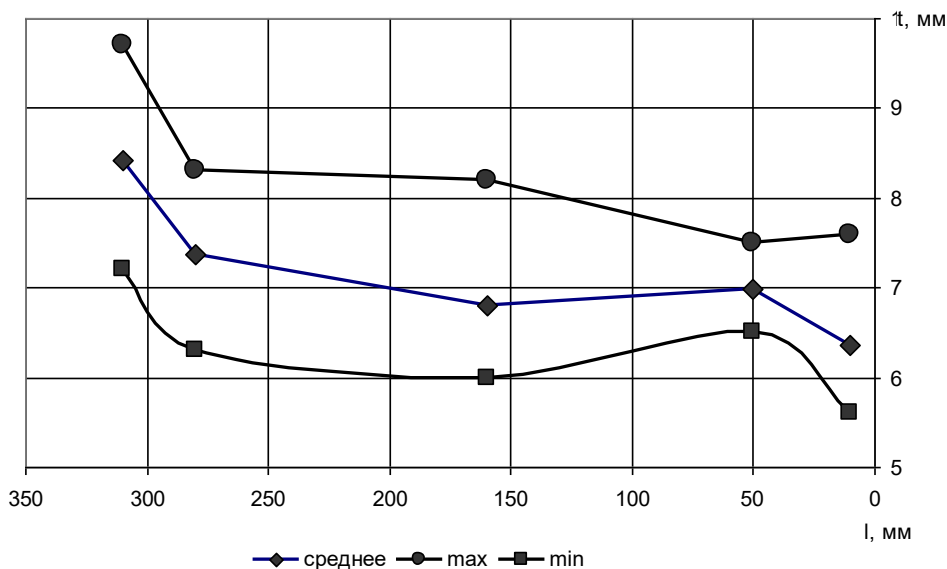


Рисунок 72 – Эпюра толщин лемеха Kverneland Group на высоте 10 мм от верхней кромки

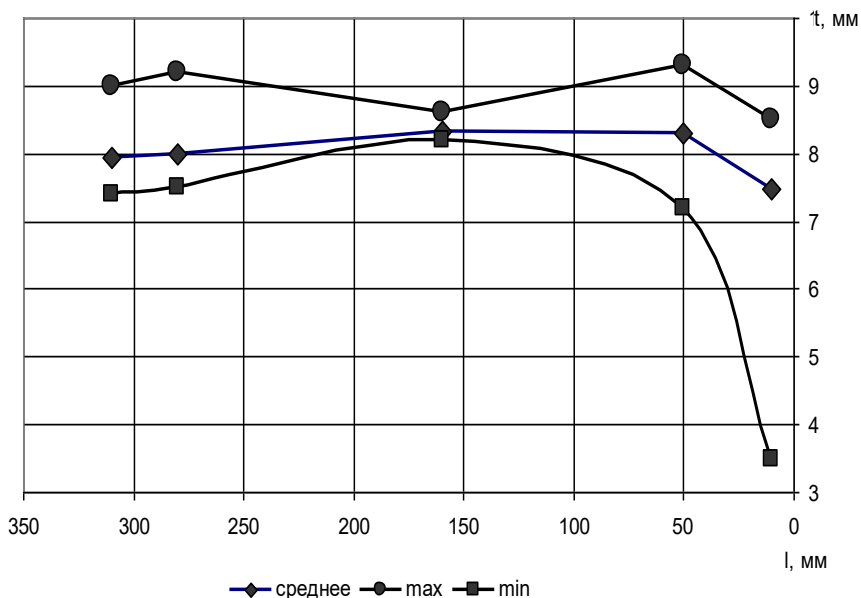


Рисунок 73 – Эпюра толщин лемеха Kverneland Group на высоте 60 мм от верхней кромки

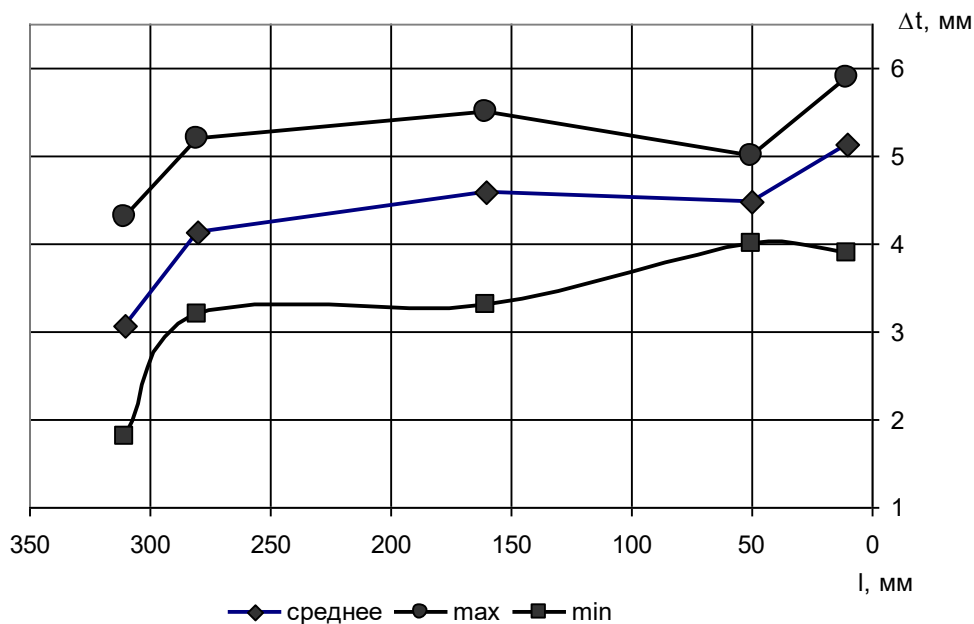


Рисунок 74 - Эпюра износа лемеха Kverneland Group по толщине на высоте 10 мм от верхней кромки

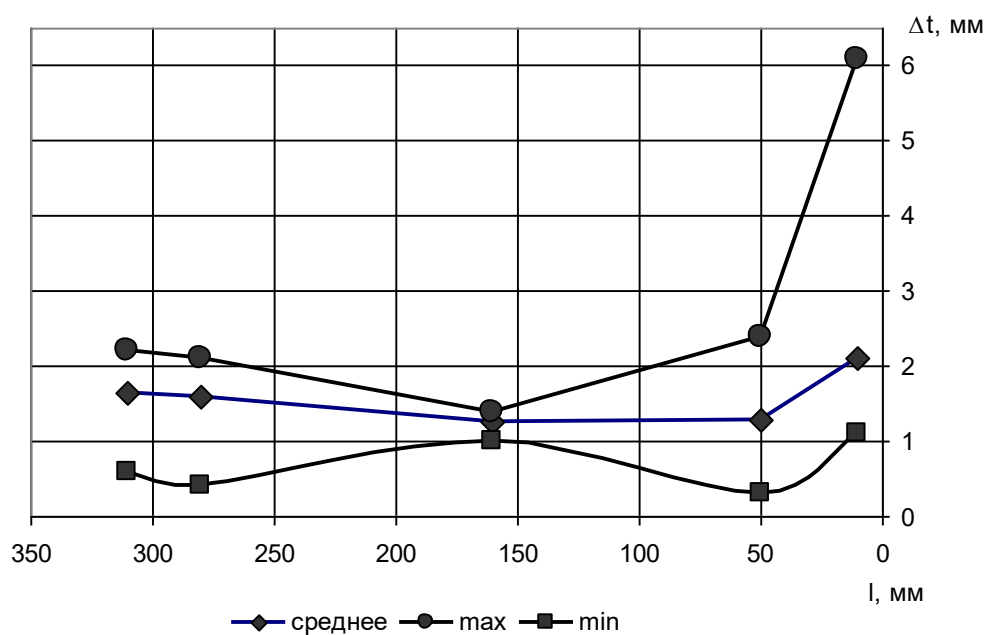


Рисунок 75 – Эпюра износа лемеха Kverneland Group по толщине на высоте 60 мм от верхней кромки

Проведенный анализ показал следующее:

1. Цельнометаллическим лемехам присущи следующие износы:
 - 1.1 Износ по ширине;
 - 1.2 Износ заглубляющей части носка;
 - 1.3 Лучевидный износ носка;

1.4 Сквозное протирание носка;

1.5 Образование затылочной фаски;

2. Наиболее значимыми для работоспособности цельнометаллических лемехов дефектами являются: лучевидный износ (84%) и износ заглубляющей части (30%).

3. Составные импортные лемеха достигают предельного состояния за счет полного истирания режуще-лезвийной части, а распределение износов подчиняется экспоненциальному закону.

4. Такие лемеха имеют наибольшую величину износа в районе пятки, а также лучевидный износ в области крепления долота; все снятые с эксплуатации детали пригодны к восстановлению.

5. Только долота фирмы Lemken пригодны для восстановления.

6. Дефекты, связанные с нарушением размерной стабильности малочисленны, и носят случайный характер.

4.3 Лучевидный износ, как главная причина выбраковки лемехов

Как показано выше работоспособное состояние и способности к восстановлению определяется наличием лучевидного износа, как для отечественных, так и для импортных лемехов. Поэтому целесообразно уделить отдельное внимание данному дефекту.

4.3.1 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 разно-

образия 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 76).

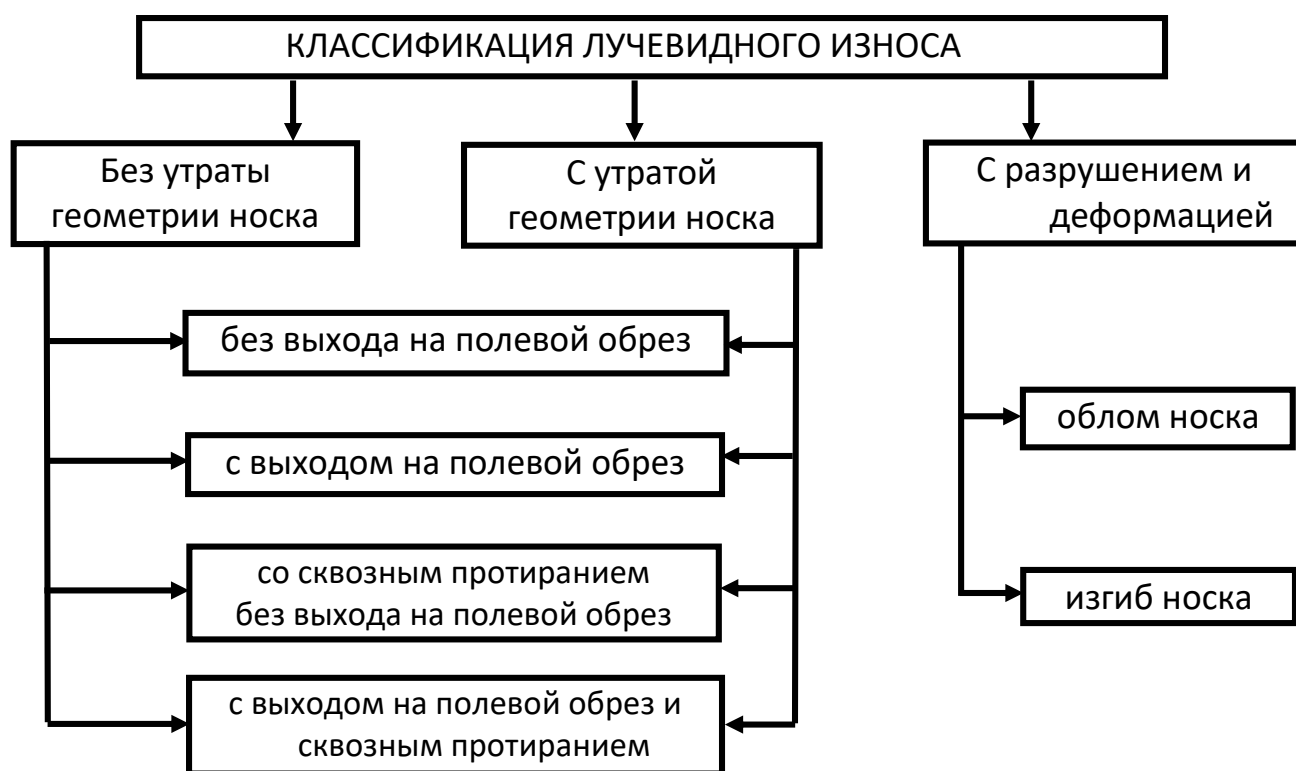


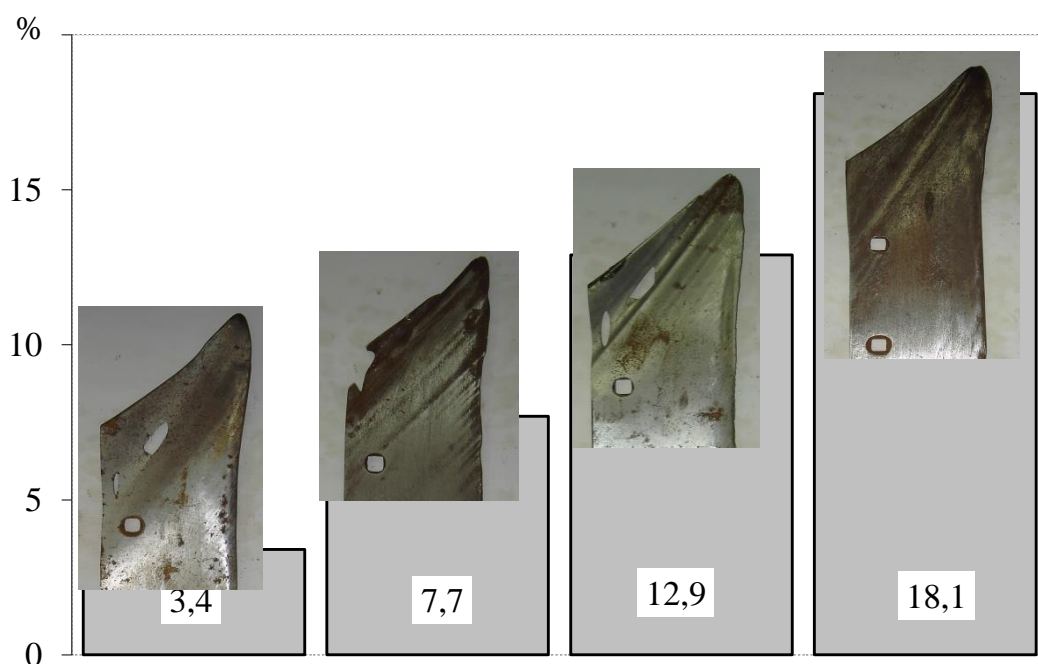
Рисунок 76 – Классификации лучевидного износа по качественным признакам

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 77). 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.

Наряду с качественной оценкой проводились соответствующие расчеты выборки изучаемых деталей для определения числовых значений указанных признаков.



Признаки

Рисунок 77 – Распределение дефектов по качественному признаку при сохранении размеров носка

Исходя из данных следует, что общее количество деталей, имеющих очевидный 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. 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 78). 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.

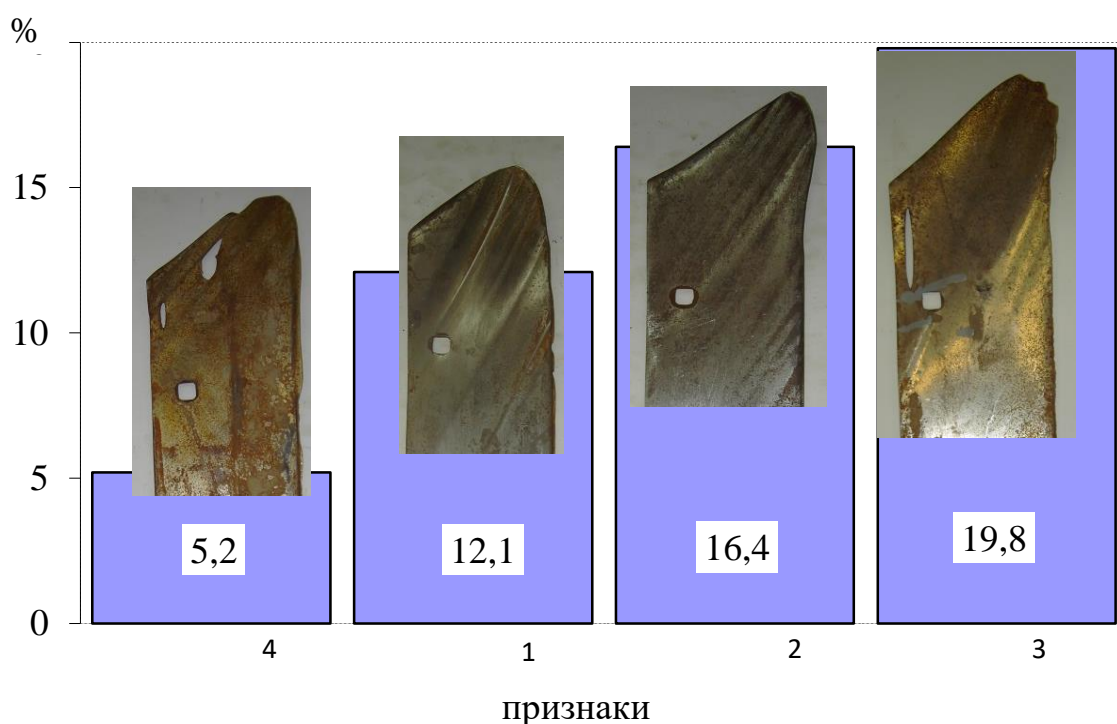


Рисунок 78 – Распределение дефектов по качественному признаку при потере геометрии носка

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 79).

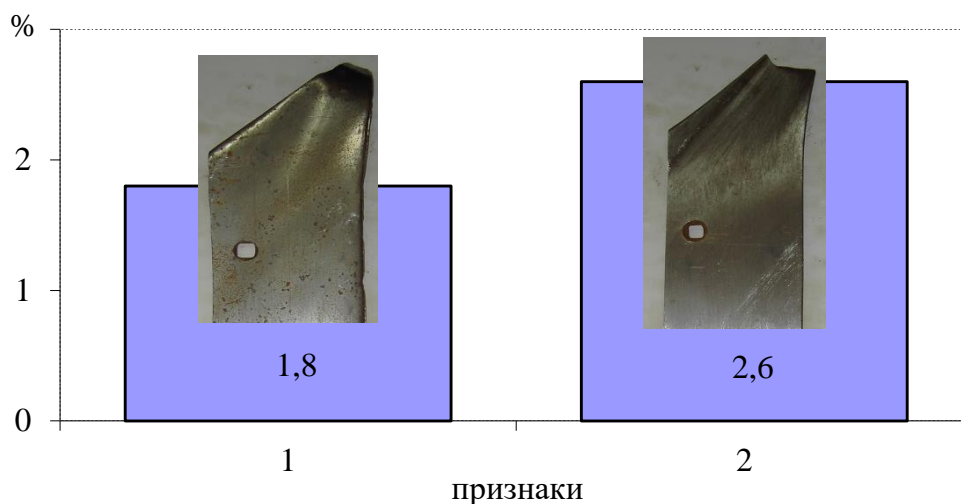


Рисунок 79 – Распределение дефектов по качественному признаку при разрушении и деформации носка (варианты качественной оценки: 1 – изгиб носка, 2 – излом носка)

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.

4.3.2 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. Действительно, 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.

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 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 износа либо они носят поверхностный характер [209]. поэтому на основании полученных данных проводился подробный статистический анализ износов по параметрам $l_i; d_i; k; \Delta h; h_i$.

Ранее было определено, что угол наклона лучевидного износа от носка к верхней стыковочной плоскости составляет примерно 50...55°. 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 15):

Таблица 15– Результаты статистического анализа

№ сечения	$l_{i\max}$	$l_{i\min}$	$l_{i\text{среднее}}$	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	$d_{i\max}$	$d_{i\min}$	$d_{i\text{среднее}}$	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 $v = 0,27...0,31$; 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 $v = 0,39 ... 0,41$. 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; 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 80).

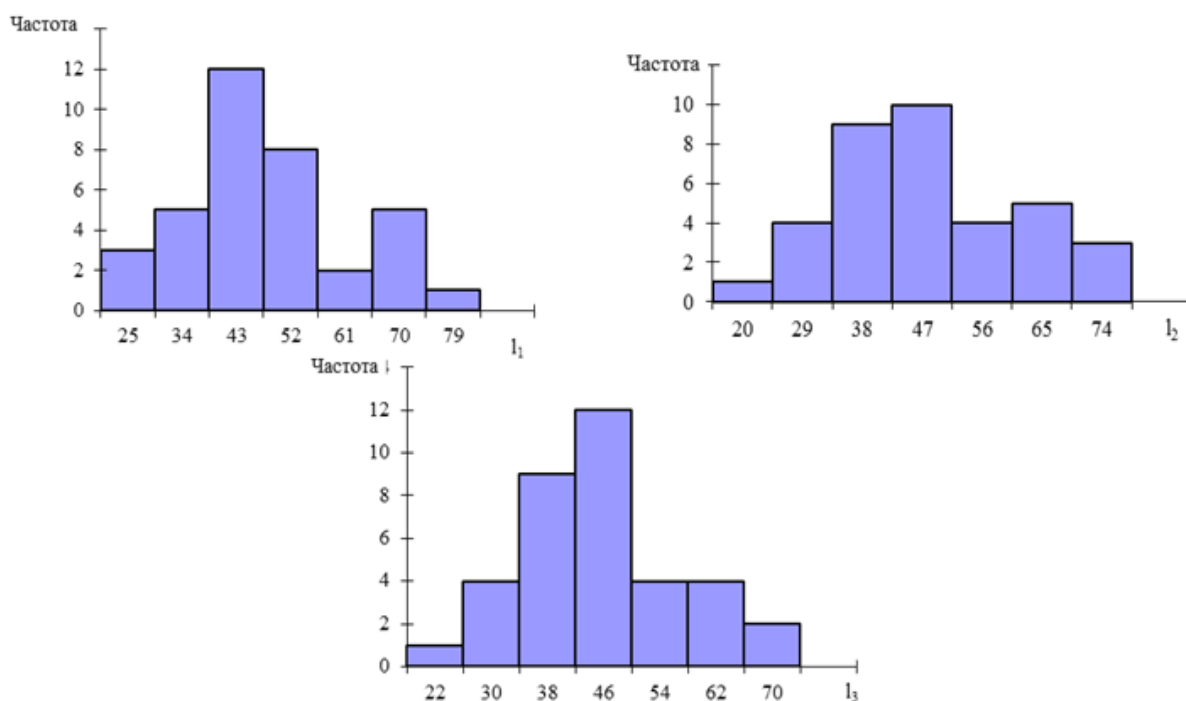


Рисунок 80 – Распределение ширины лучевидного износа (l_i , мм)

Распределения параметров d_i (рисунок 81) носит характер отличный от нормального и приближено к распределению Пуассона, что подтверждается разбросами этих значений ($v > 0,33$).

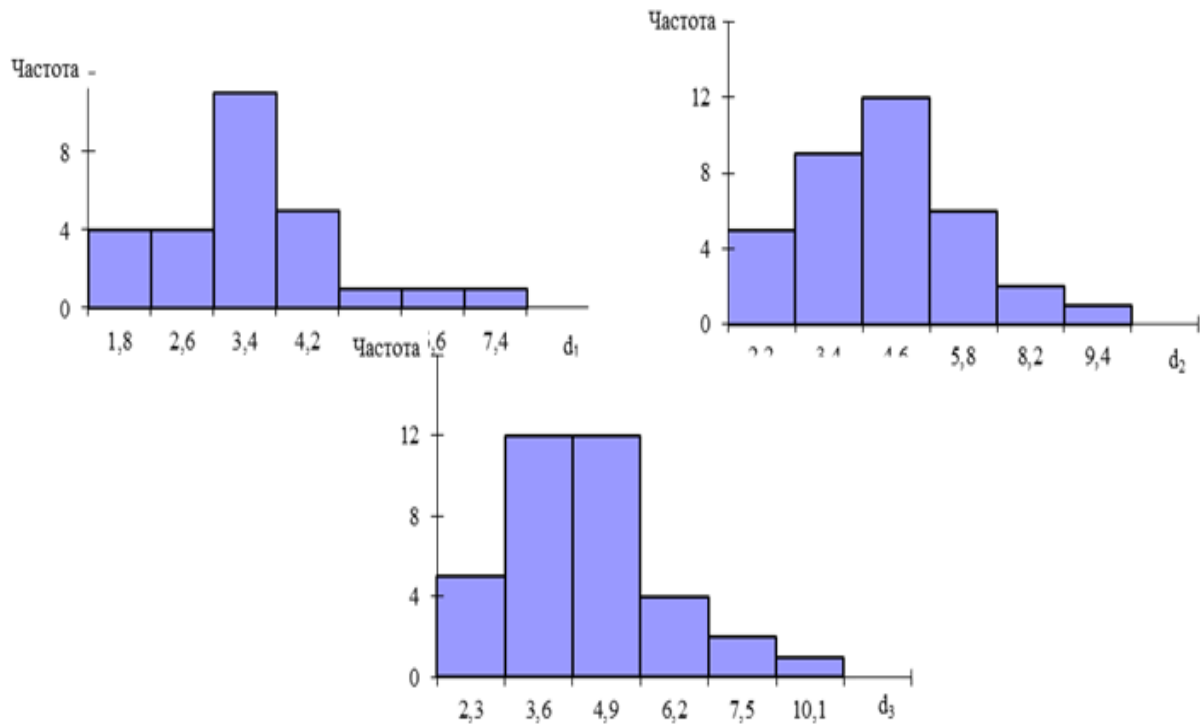


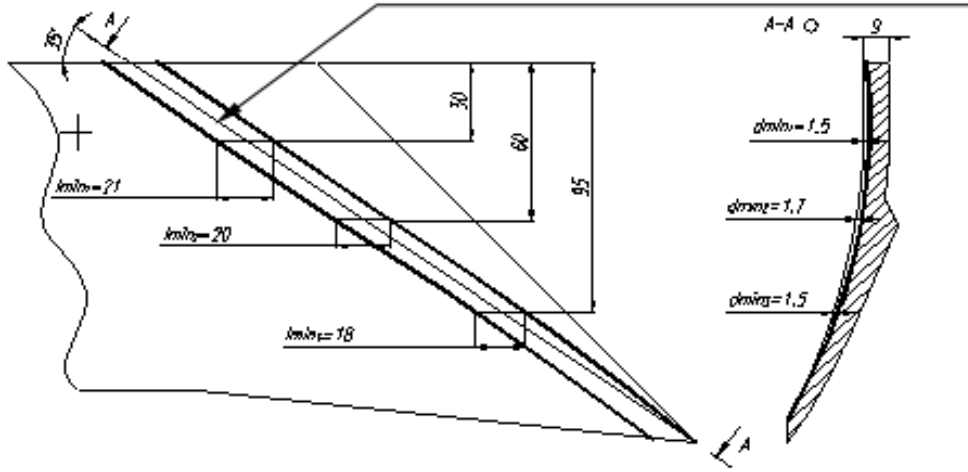
Рисунок 81 – Распределение глубины лучевидного износа (d_i , мм)

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.

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

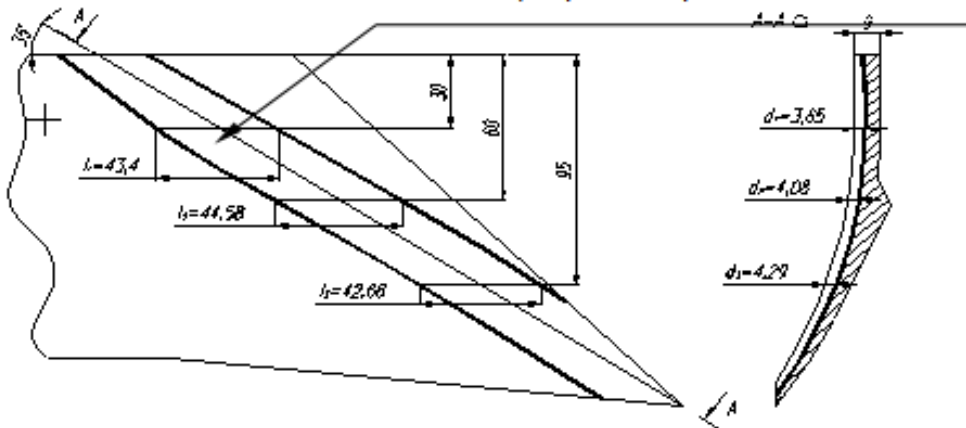
Графическое построение лучевидного износа по средним данным размеров l_i и d_i , Δh с помощью программы «AutoCAD» дало возможность смоделировать его форму (рисунок 82), несколько отличную от общепринятой, при сохранении геометрии носка лемеха.

Образующая лучевидного износа



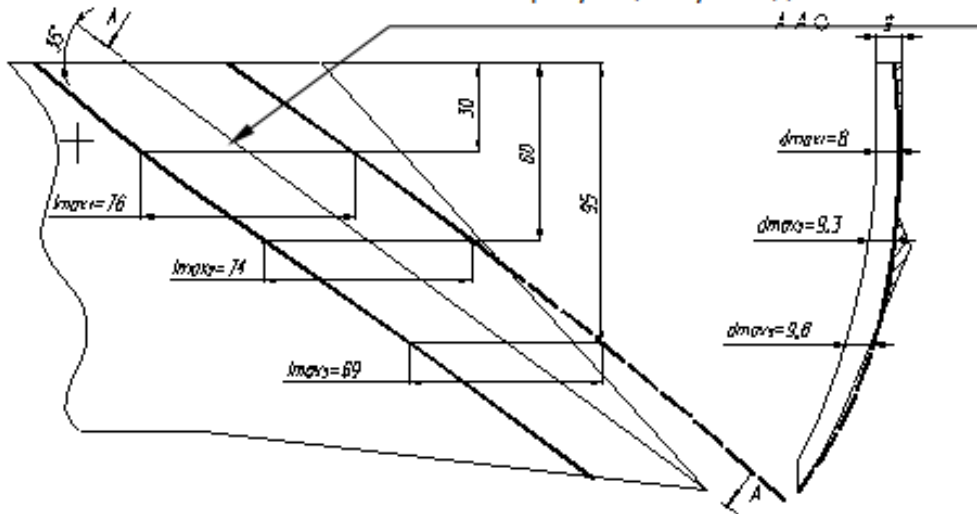
а)

Образующая лучевидного износа



б)

Образующая лучевидного износа



в)

Рисунок 82 – 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 82 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 (рисунок 82 а, б, в).

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.

4.3.3 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 .

Измерение ширины и толщины лемеха не учитывалось в проведенных исследованиях, так как в работе [210] 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 16) 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 16 – 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 83; 84; 85) имеют прямолинейную зависимость.

С увеличением глубины износа в любом сечении происходит увеличение d_i и по другим сечениям (рисунок 83). Отмечено, что большие значения d_i имеют место в нижней части носка из-за повышенных давлений почвы в этой области.

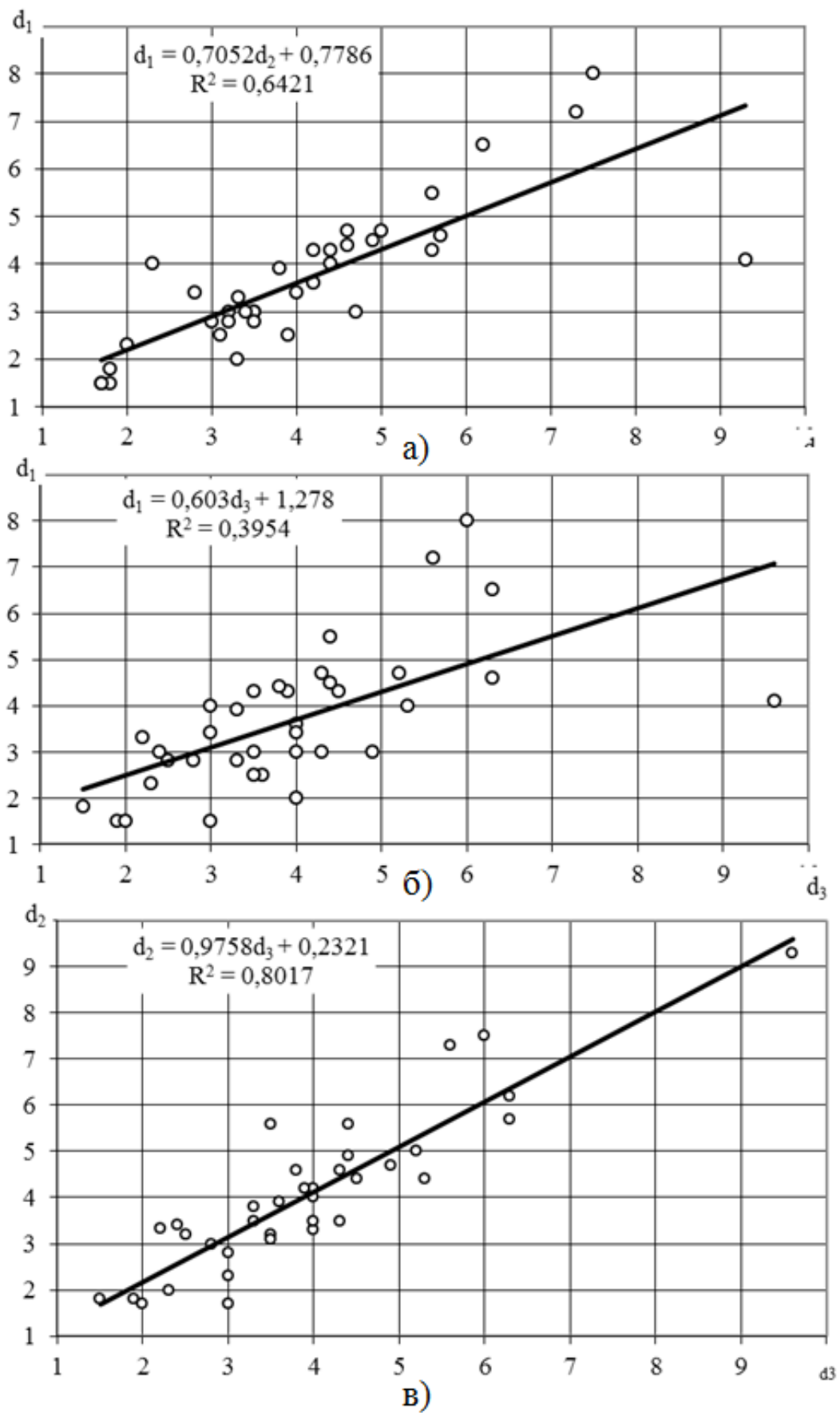


Рисунок 83 –Изменения глубины лучевидного износа d_i ,мм в различных сечениях

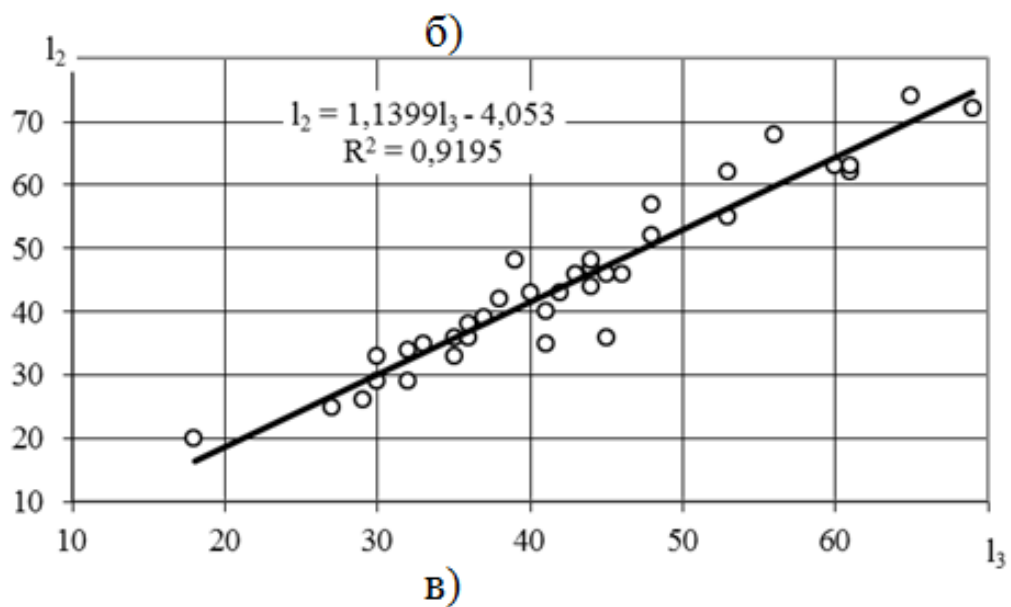
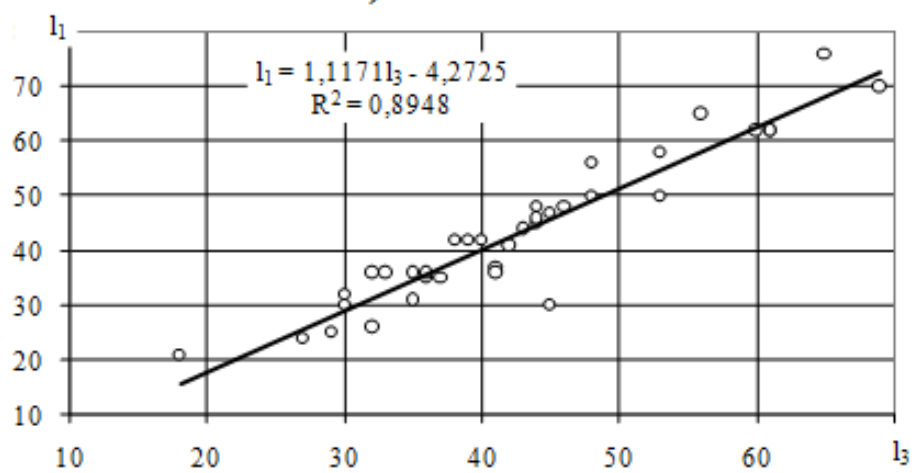
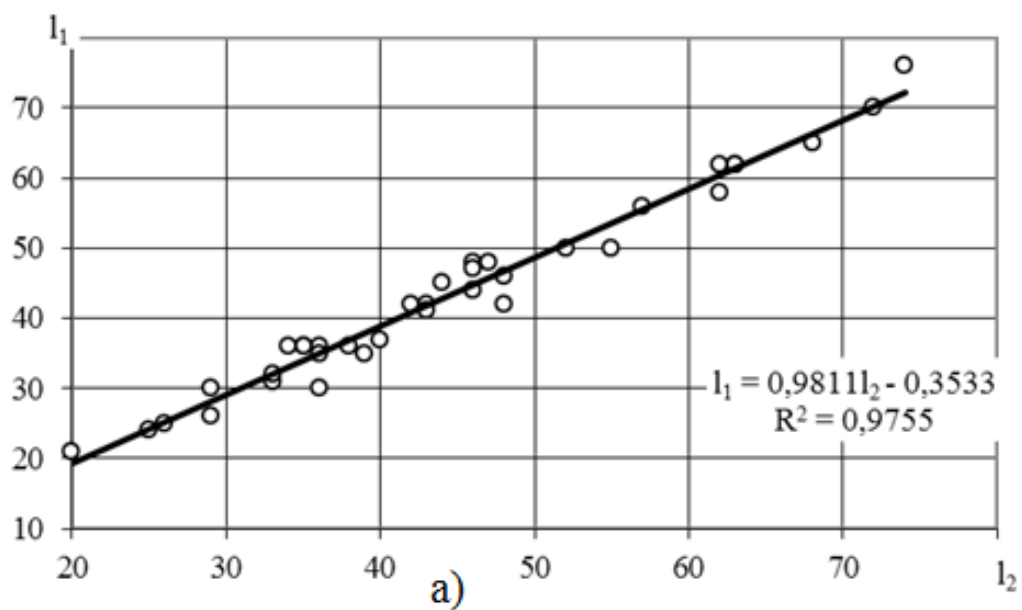
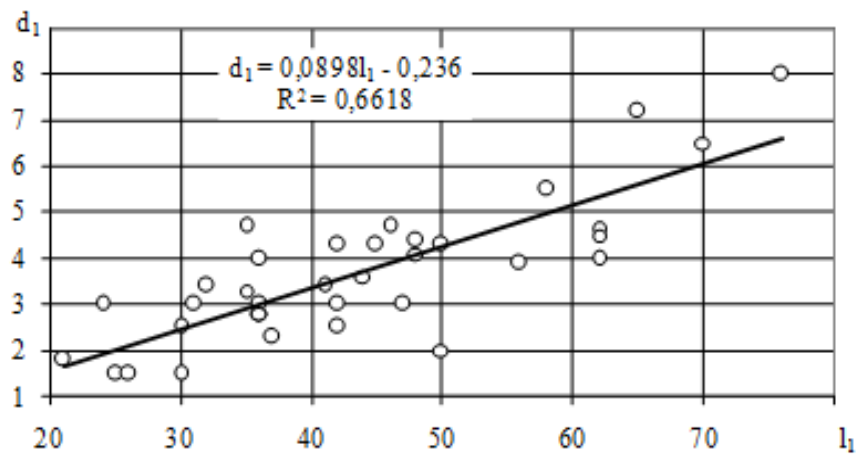
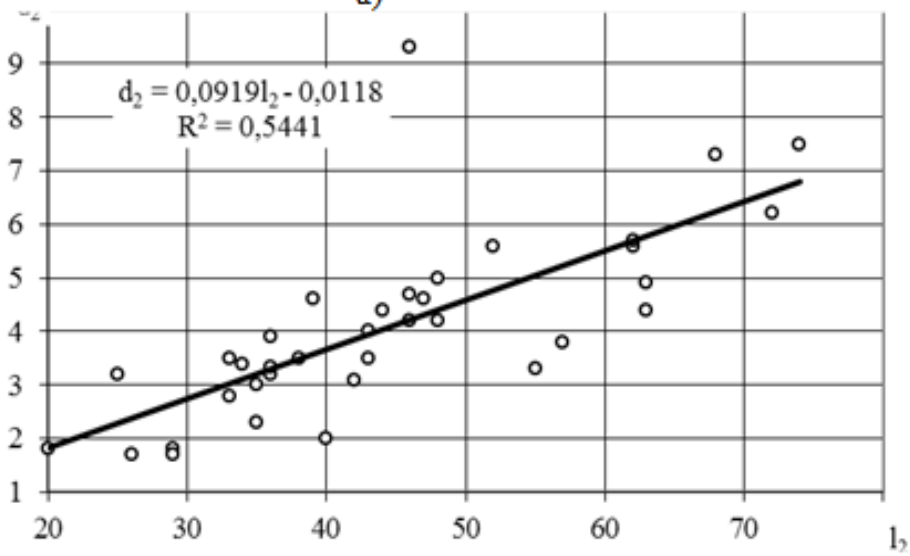


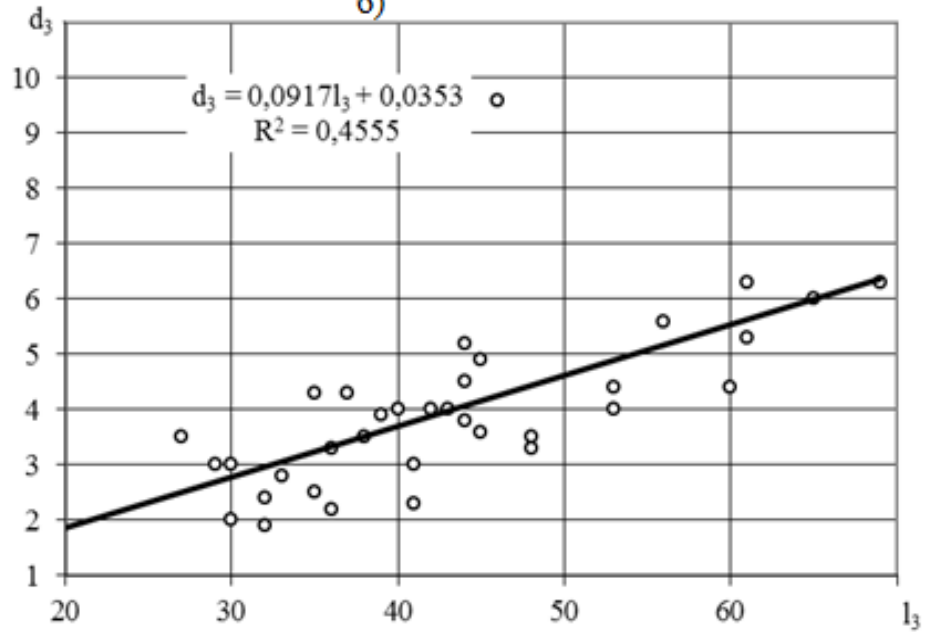
Рисунок 84 – Изменение ширины лучевидного износа l_i , мм в различных сечениях



a)



б)



в)

Рисунок 85 – Изменение ширины лучевидного износа l_i , мм в зависимости от глубины d_i , мм

Ширина l_i в любой плоскости растёт с ростом l_i в других плоскостях (рисунок 84). 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 (рисунки 83; 84) меньшую величину. Рост ширины в I сечении связан с винтовым 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 (рисунок 85). 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 16).

Таблица 16 – 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 и обеспечивает такую тенденцию.

4.3.4 Математическая модель геометрии лучевидного износа отвалов

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:

$$d_3 = 0,046 + 0,025 l_1 - 0,081 l_2 + 0,084 l_3 - 0,239 d_1 + 0,932 d_2 \quad (1)$$

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

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.

4.3.5 Характер и интенсивность изнашивания отвала

Надежность плужных отвалов определяется их износостойкостью и прочностью. Величина давления и соответственно интенсивность изнашивания зон отвала представлена на рисунке 86 порядковыми номерами этих зон.

Наибольшее давление и интенсивность изнашивания имеют место в зоне 1 и полевом обрезах, наименьшее – в зоне крыла 5.

Выбраковка отвалов из-за предельного износа производится в большинстве случаев при образовании сквозных отверстий в зоне 1 или в результате износа полевого обреза до обнажения башмака. Известны случаи, когда при вспашке липких почв выбраковка отвалов осуществляется при износе на глуби-

ну наружного твердого слоя, поскольку при следующем износе мягкого среднего слоя (с распространением лунки износа под передний твердый слой) резко увеличивается залипание отвала.

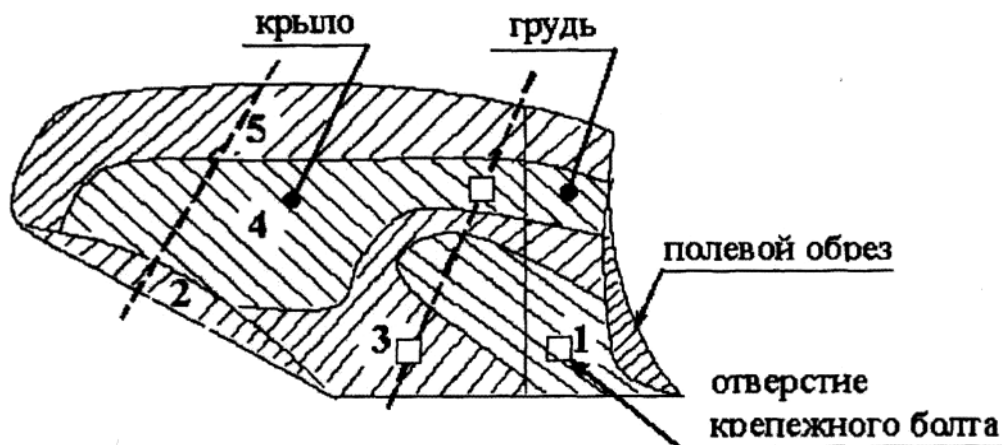


Рисунок 86 - Зоны износа овала

По результатам проведенного нами обследования отвалов в процессе эксплуатации, можно заключить, что при вспашке слабосвязных песчаных и супесчаных почв, когда подрезанный лемехом почвенный пласт близок по агрегатному состоянию к сыпучей массе, наибольшему износу подвергается зона груди отвала 1 (рисунок 86). Выбраковка отвала (груди отвала) при этом производится из-за сквозного протирания в зоне стыка отвала с лемехом, либо из-за износа головки крепежного болта.

При вспашке суглинистых и глинистых почв, характеризующихся высокой степенью связности, и, как следствие, определенной монолитностью подрезанного почвенного пласта, наибольший износ наблюдается в зоне полевого обреза (рисунок 86). Выбраковка отвала в этих случаях производится при линейном износе полевого обреза на уровне центра нижнего крепежного отверстия на величину 15 мм.

В таблице 17 представлена интенсивность износа (мм/га) серийных отвалов для различных типов почв.

Как видно, интенсивность изнашивания отвалов на песчаных и супесчаных почвах в 9...16 раз больше, чем на глинистых, а на суглинистых – в 1,5...6 раз.

Таблица 17 - Зависимость интенсивности износа серийных отвалов от типа и состояния почв

Тип почвы		Интенсивность износа, мм/га	Относительная интенсивность износа по отношению к глинистой почве
по механическому составу	по плотности		
песчаные супесчаные	-	>0,08	>16
	легкие	0,08	16
	тяжелые	0,08-0,04	9
суглинистые	легкие	0,04-0,02	6
	средние	0,02-0,01	3
	тяжелые	0,01-0,005	1,5
глинистые	-	<0,005	1,0

В таблице 18 представлены данные по ресурсу серийных составных отвалов (грудь + крыло). Данные получены в процессе испытаний, проведенных в различных МИС ВИСХОМом в 1982-1984 годах.

Как видно, ресурс грудей отвала при вспашке супесчаных почв с каменистыми включениями составляет 10,7 га, а без каменистых включений – 36,6 га. Учитывая, что предельный износ груди определяется высотой крепежного болта (3,5 мм), интенсивность износа составила соответственно 0,32 и 0,0956 мм/га, что для почв без каменистых включений примерно совпадает с результатами таблицы 17.

При вспашке суглинистых почв различного агрегатного состояния ресурс грудей, выбракованных по предельному износу полевого обреза, колеблется в пределах 60...102 га, что соответствует интенсивности износа 0,12...0,06 мм/га. Это несколько превышает показатели таблицы 17.

Ресурс крыльев отвала в 3...4 раза превышает ресурс грудей и составляет для супесчаных почв 98 га, а для суглинистых – 270 га.

Таблица 18 - Ресурс серийных составных отвалов, изготовленных заводом «Алтайсельмаш», по результатам испытаний, проведенных ВИСХОМом

Тип почвы	Место испытаний	Наработка (га) до отказа		Характер отказа груди
		крыло	грудь	
Супесчаные легкосуглинистые с каменистыми включениями	Калининская МИС	41,0	10,7	Сквозной износ, износ крестовины
Пылевато-супесчаные, оподзоленные	Львовская МИС	98	36,6	То же
Суглинок	Западная МИС	270,9	60,4	Износ по полевому обрезаю
Среднесуглинистый	Поволжская МИС МИС	-	102	То же

Следует отметить, что на песчаных почвах отвал изнашивается в 2 раза быстрее, чем на супесчаных, в 4 раза быстрее, чем на суглинистых и в 8 раз быстрее, чем на глинистых почвах. Эти результаты частично совпадают с данными таблицы 17.

Поломки отвалов чаще всего происходят в области крыла по сечениям, через верхнее и левое нижнее крепежные отверстия, являющиеся концентраторами напряжений, либо в левой части крыла в местах наибольших напряжений.

Доля отвалов, выбракованных по поломкам, различна в зависимости от каменистости почв. По некоторым высказываниям при вспашке каменистых почв число отвалов, выбраковываемых по причине излома, достигает 100 % и снижается до 0 при обработке почв, свободных от камней. В средних условиях потери отвалов по изломам составляют 10...20 %.

4.3.6 Анализ гистограмм распределения вертикальных координат нижних (h_1) и верхних (h_2) точек профиля износа в виде сквозного протирания

Распределение координат нижних точек профиля износа не подчиняется какому-то единому закону распределения для различных величин L (величина координаты по нижнему обрезу лемеха – ось абсцисс). В точках, расположенных в непосредственной близости от нижней носовой части (острие носка), значение h_1 распределяются по закону Гаусса. Расстояние для такого распределение составляет от $L = 10$ мм до $L = 100$ мм.

При L равное 110 – 260 мм распределение при визуальной оценке подчиняется закону Пуассона. Следует заметить, что имеют место распределения, где знак меняется на обратный; это характерно для от $L = 160$ мм до $L = 260$ мм.

Наряду с отмеченными распределениями величины h_1 могут быть постоянными, например, в рассматриваемом случае при $L = 280$ мм.

Столь значительное разнообразие законов распределения указывает на сложность протекания процессов изнашивания, обусловленных, прежде всего, разницей в давлениях почвы по координате L и воздействием на изучаемые отвалы различных типов почв.

Более того, следует предположить, что процесс изнашивания будет носить в достаточной степени нестабильный характер, связанный не только с физико-механическими свойствами почвы, но и с ее влажностью, определяемой климатическими условиями региона.

Гистограммы распределения, построенные для величин h_2 , имеют некоторые отличия в сравнении с гистограммами для h_1 . Так для размеров по L от 10 до 70 мм распределение подчиняется нормальному закону (рисунок 1.4). Начиная с $L = 80$ мм и до конечной длины, h_2 распределяется по экспоненте. Отмеченное указывает на сравнительно большую стабильность протекания процесса износа. Это объясняется более равномерным и низким давлением почвы в данной области рабочей поверхности отвала. Определенную роль в процессе стабилизации изнашивания играет повышенное крошение почвы, характерное для этой зоны.

Таким образом, в нижней части отвала процесс износа имеет менее стабильный характер по отношению к верхним областям детали, что подтверждается и наименьшим износом ее крыла.

4.3.7 Математическое моделирование наиболее характерного вида износа (протираия)

Моделирование проводилось с использованием программы Excel. В качестве данных использовались среднее значение величин h_1 и h_2 для линейных размеров L_i (где $i = 10 \dots 260$ с периодом 10 мм) и результаты предыдущего параграфа.

Работа проводилась в три этапа.

Первый этап. Построение эпюры h_1 относительно длины нижнего обреза отвала (рисунок 87). Рисунок отражает типичный профиль нижней линии износа в виде протертости. Эпюра показывает, что на расстоянии 160 мм от точки пересечения полевого и нижнего обреза характерная линия износа имеет прямолинейный характер и параллельна нижнему обреза. Далее происходит резкий подъем этой линии. В первую очередь это связано с двумя факторами: первый – распределением давления (в нижней части на указанном расстоянии оно максимально); второй – движение почвы происходит верно, что и отражается на форме эпюры.

Второй этап. Эпюра распределения вертикальных координат верхних точек h_2 в определенной мере является зеркальным отражением аналогичной эпюры по h_1 . Такая форма верхней линии износа объясняется теми же факторами, что и для h_1 , однако, их влияние в этом случае имеет определенные отличия. По-видимому, образование такой формы кривой объясняется изменением связности почвы при ее движении от нижней части отвала к его верхней области (рисунок 88).

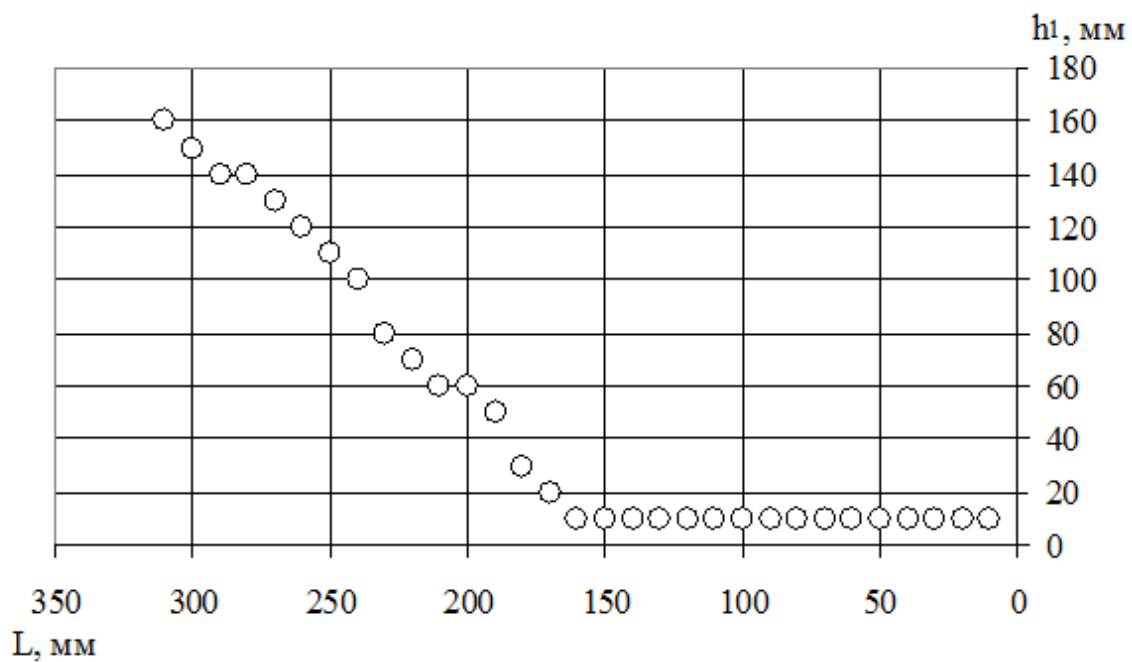


Рисунок 87 – Эпюра распределения вертикальных координат нижних (h_1) точек

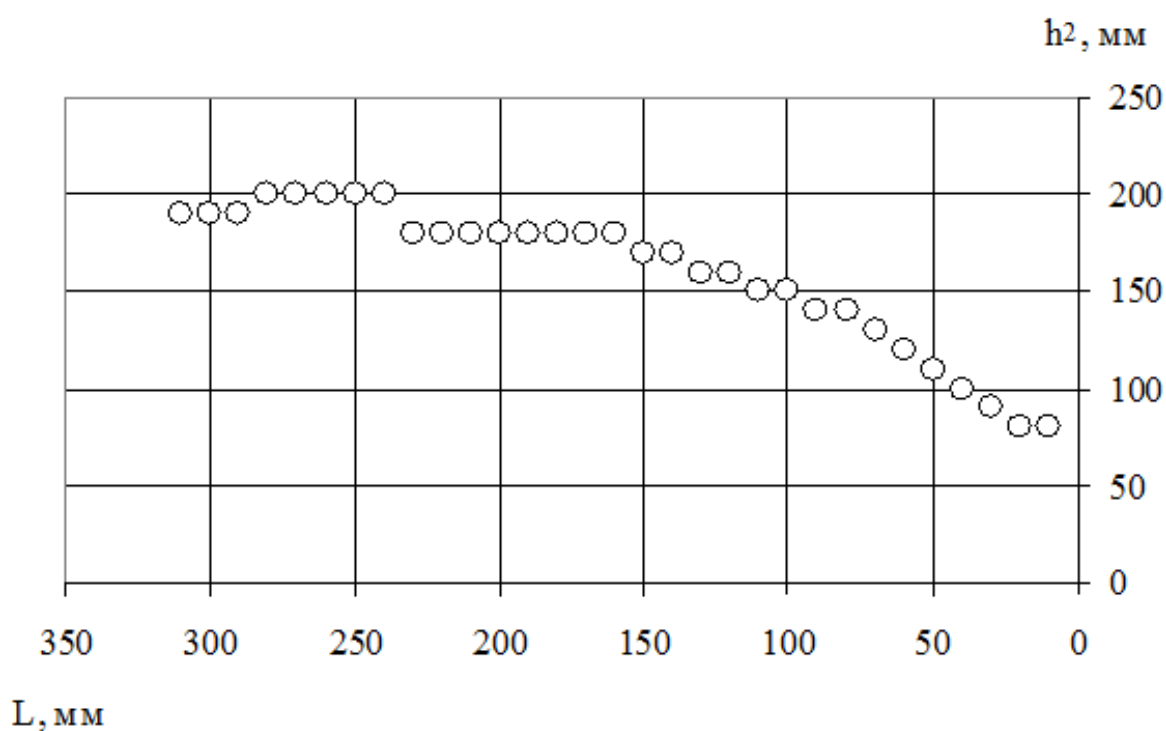


Рисунок 88 - Эпюра распределения вертикальных координат верхних (h_2) точек

Третий этап посвящен построению формы износа в виде протертости, отраженной на рисунке 89.

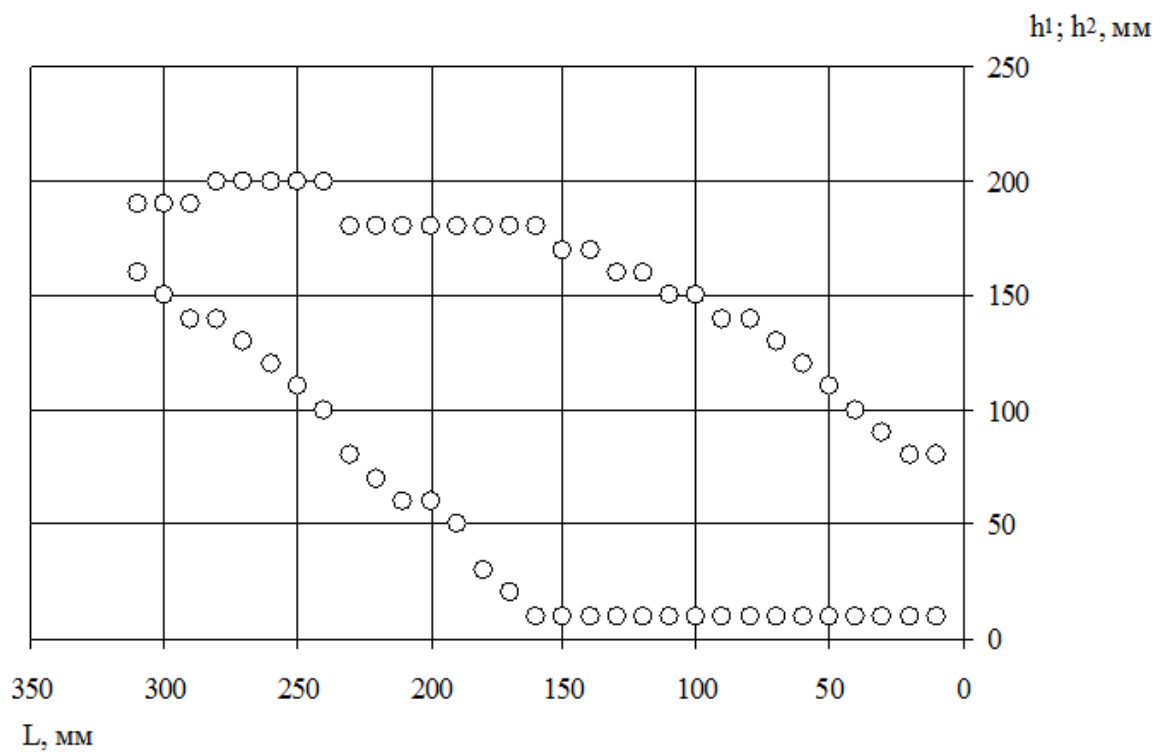


Рисунок 89 – Характерная форма износа в виде сквозного протирания

Для подтверждения полученной эпюры износа методом математического моделирования приводится фотография отвала плужного корпуса с характерным износом (рисунок 90).



Рисунок 90 – Характерный износ отвала плужного корпуса

4.3.8 Анализ изменения геометрии износа по толщине отвала

Протертость в области носка и груди, т.е. утрата размеров, установленных агротехническими требованиями характерная особенность для отвалов. Коэффициент повторяемости этого дефекта составляет 0,93).

Как правило, приводятся данные говорящие о том, что отвалы дефектуются при достижении ими предельного состояния, когда остаточная толщина в области носка и груди достигает 2 мм, либо в результате износа полевого обреза до обнажения башмака. С такими данными врядли можно согласиться, так как, следуя из наблюдений, собственному опыту и проведенным экспериментам установлено, что в хозяйствах производителей за критерий предельного состояния принимается нарушение целостности детали.

Поэтому, проводились исследования направленные на определение области наиболее вероятного износа отвалов, путем нахождения средних значений толщины H_{cp} по вертикальной (рисунок 91, а) и горизонтальной (рисунок 91, б) длин сечений (l), как следует из графиков (рисунок 92, 93)

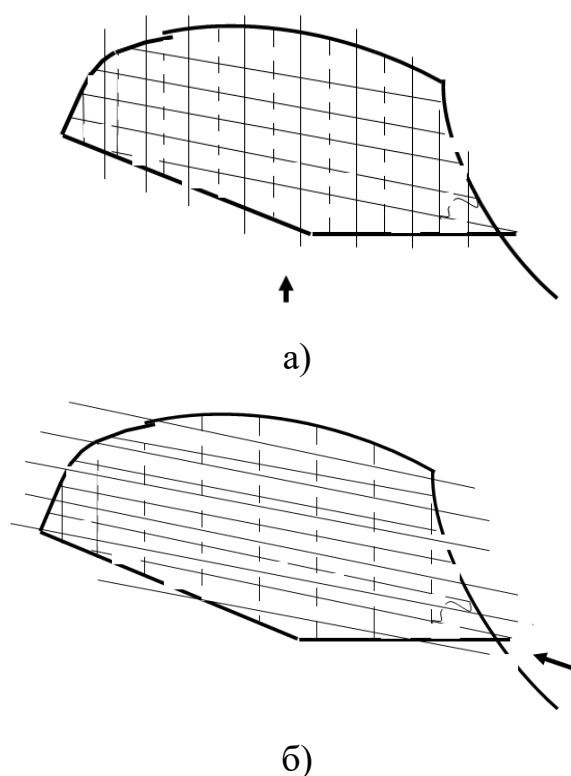
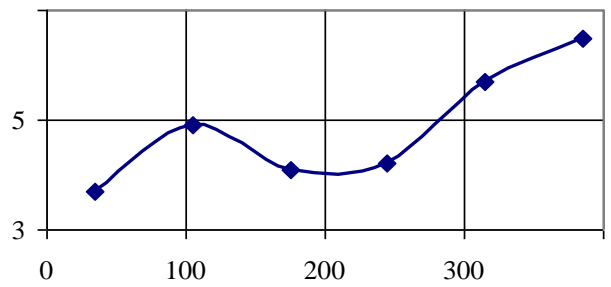
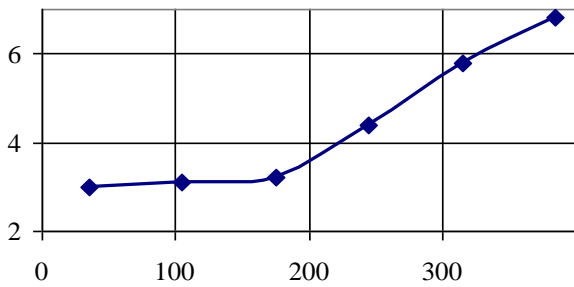
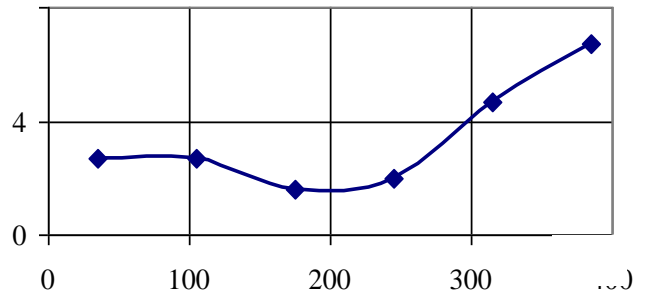
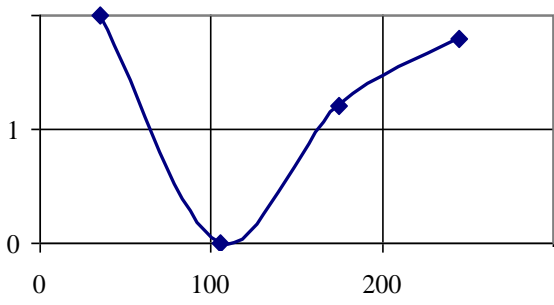
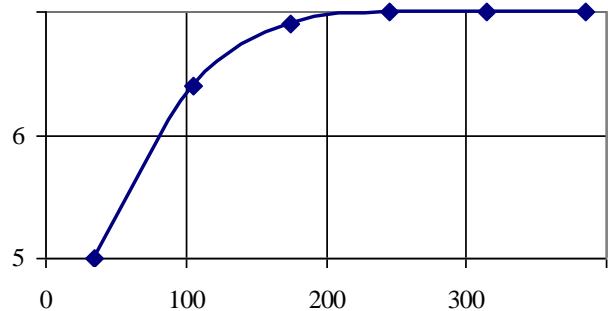
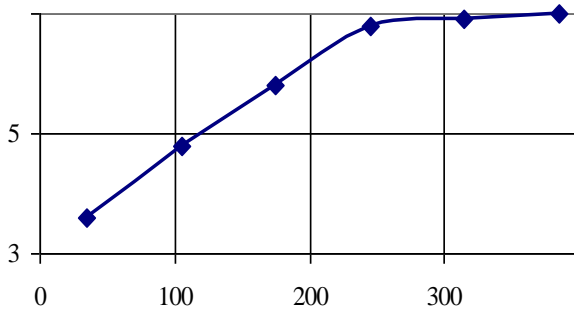


Рисунок 91 - Схема с нанесением сечений а) – вертикальных; б) - горизонтальных



I



V

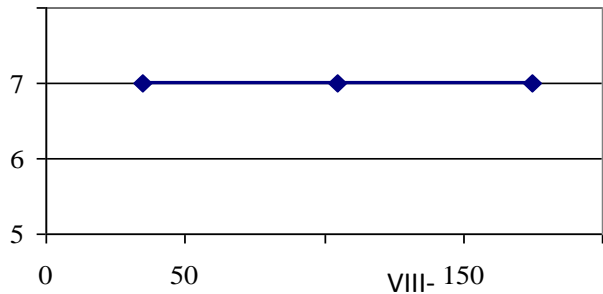
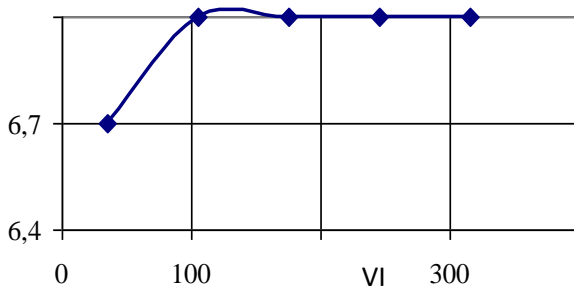


Рисунок 92 - Изменения толщины детали от стыкового обреза к верхнему обреза (цифровые обозначения графиков соответствуют сечениям)

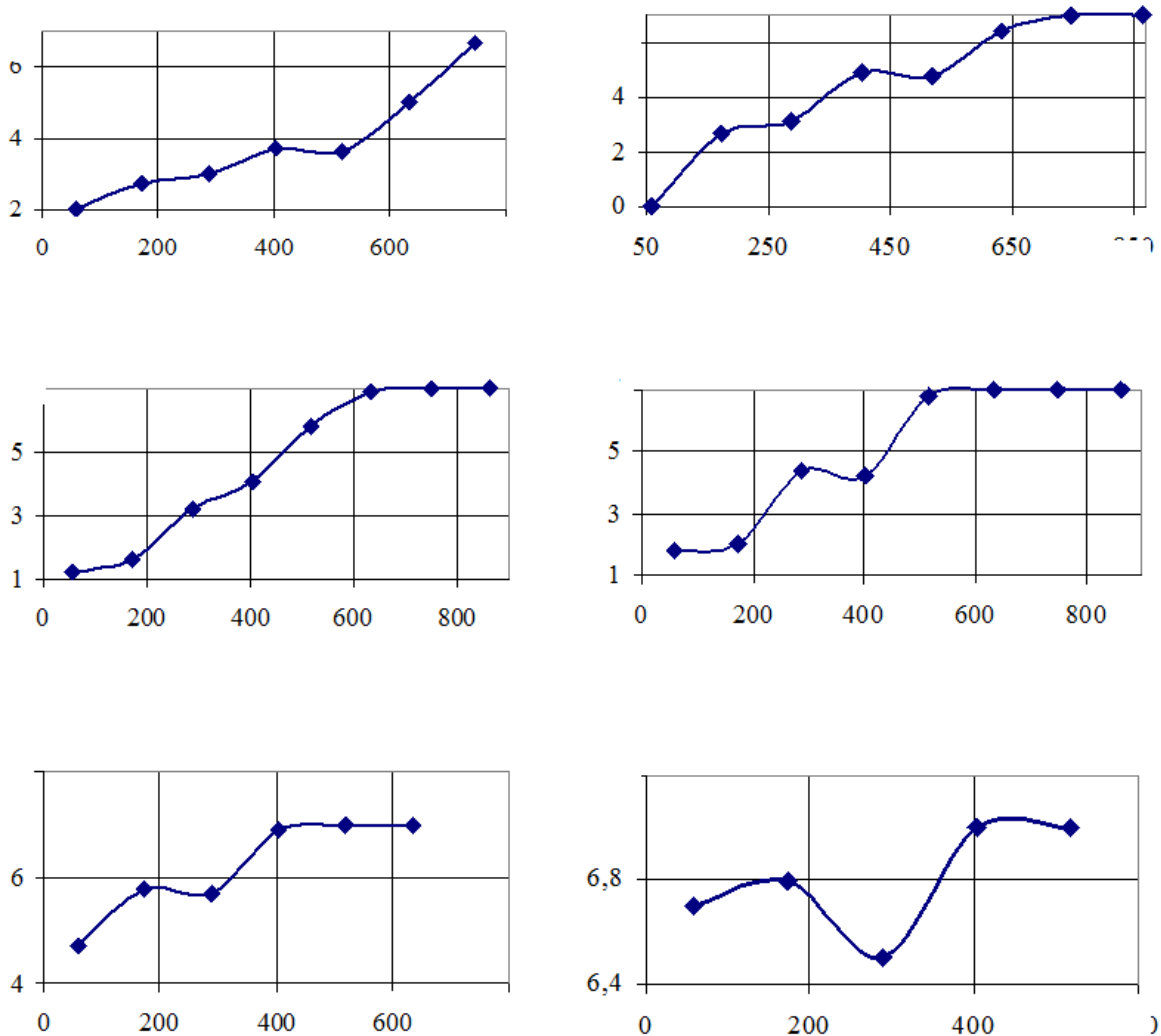


Рисунок 93 - Изменение толщины детали от полевого обреза к крылу отвала (цифровые обозначения графиков соответствуют сечениям)

4.3.9 Анализ износов отвала по периметру

Вероятный износ расположен в области, очерченной на рисунке 94. В этом случае проведение изучения процесса износа в динамике, т. е. потери отвалом размеров вызывает серьезные затруднения из-за сложности проведения замеров.

Этот фактор усугубляется проведением армирования как упрочняющей технологии, ввариванием вставки в изношенную область и завариванием луче-видного износа.

Что бы решить вопрос определения вероятной области износа, предложен способ точек.

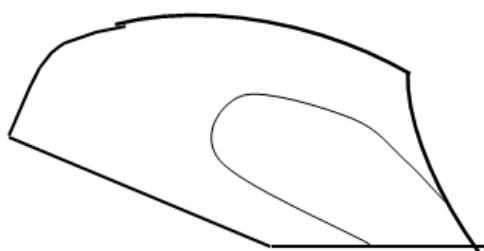


Рисунок 94 – Схема отвала с областью вероятного износа

На лицевой стороне по периметру отвала, с помощью ручной электродуговой сварки электродом УОНИ 13/55 были наплавлены точки. Расстояние от края детали до наваренной точки составляет 50 мм, точки нанесены по периметру через 100 мм. Исследованиям подверглись три отвала (рисунок 95), два восстановленных по приведенным технологиям, и для сравнения отвал в состоянии поставки.

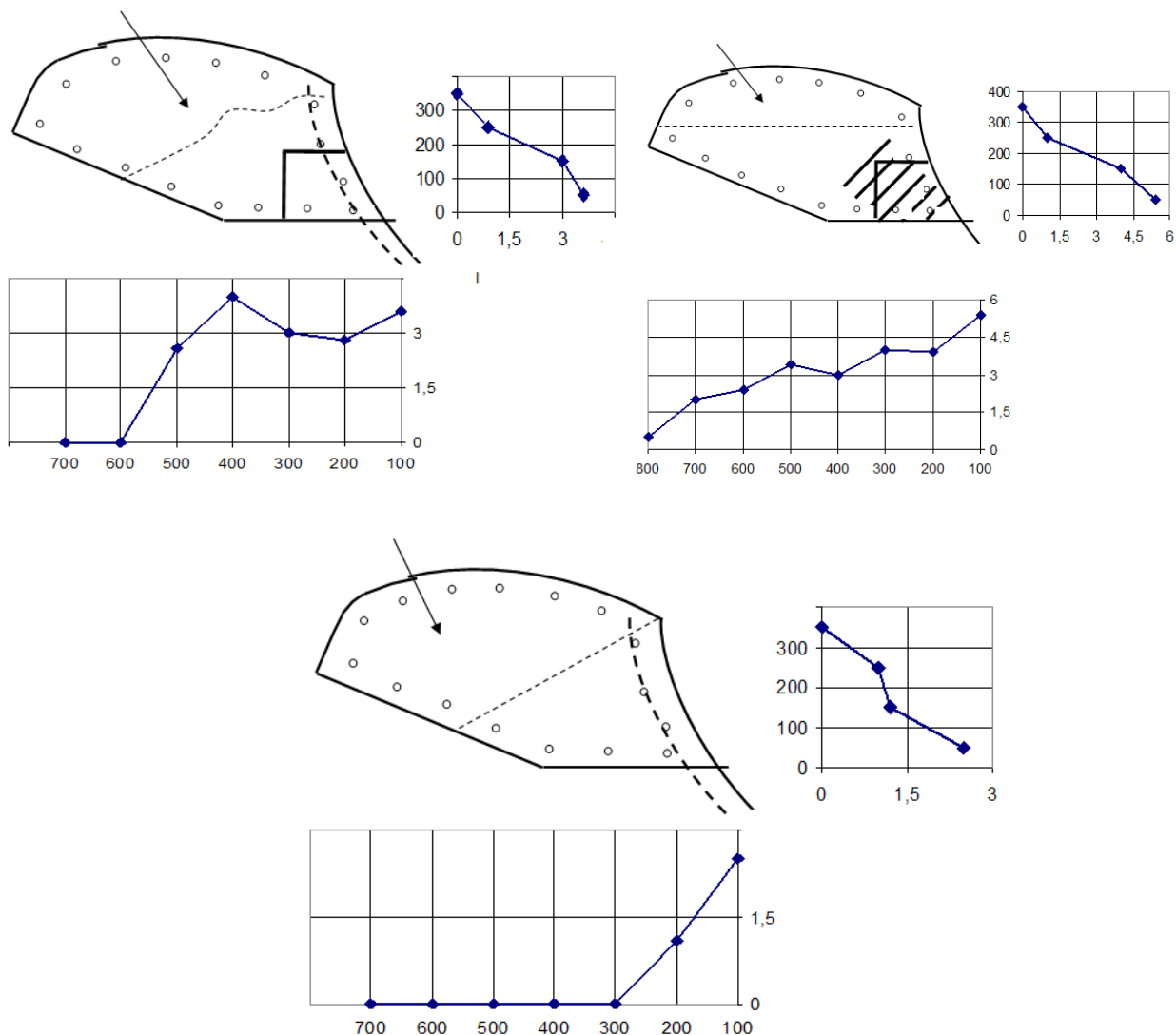


Рисунок 95 – Исследуемые отвалы

4.3.10 Износ наиболее вероятной области образования дефекта

Толщина отвала, особенно в области груди и носовой части, является его выбраковочным признаком. Характерным видом износа этой области считается образование лучевидной формы. Поэтому проводились эксперименты по определению влияния технологических воздействий в разных его вариантах на процесс износа, тем более изменение толщины отвала в динамике (т.е. в зависимости от наработки) не исследовалось.

Испытанию и исследованию подверглись три культурных отвала, которые после наработки в 25-28га были восстановлены методом вставок и способом заправки (лучевидный износ), затем были просверлены отверстия 2. Расстояния между просверленными отверстиями выбирались исходя из того, что в этом месте находится предполагаемая зона износа 1 (рисунок 96).

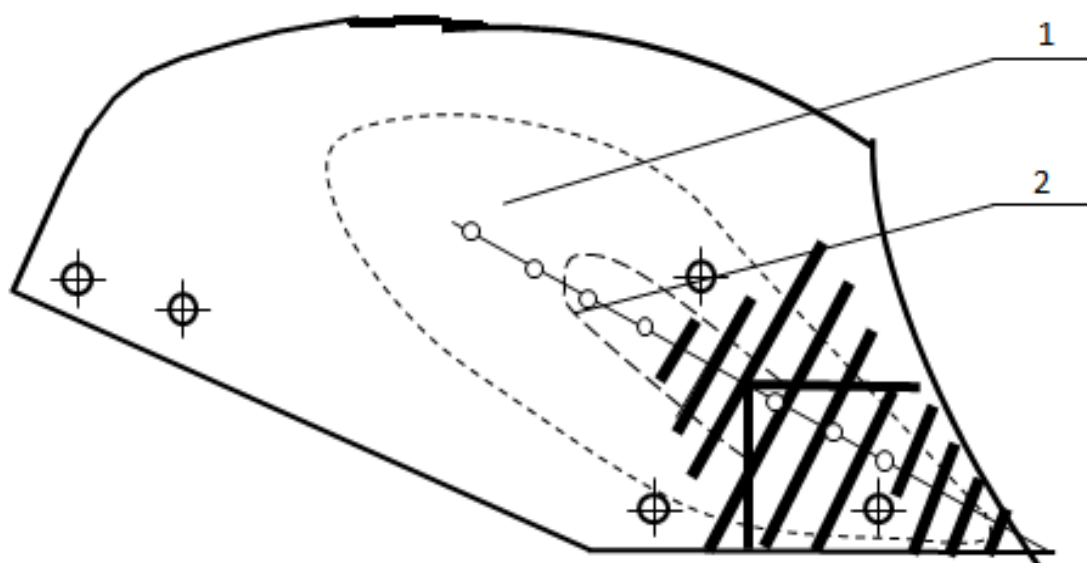


Рисунок 96 - Отвал с просверленными отверстиями 1 – предполагаемая зона износа; 2 – просверленные отверстия

В качестве основного оценочного параметра была принята:

- толщина отвала в местах сверления;
- износостойкость i от наработки $T_{га}$;

Измерения проводились штангенциркулем с глубиномером ШЦ-II-0,05 ГОСТ 166-80 рисунок 97.

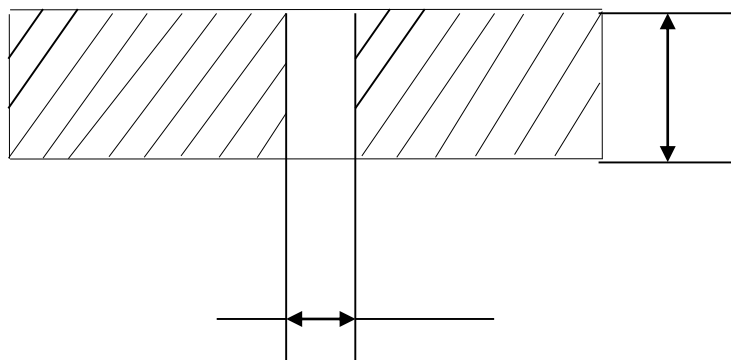


Рисунок 97 – Схема разреза

Графики $i = f(T)$ построены до снятия отвалов в связи с утратой ресурса. По мере истирания технологических воздействий (армирующие валики, заплавка) интенсивность изнашивания для различных технологий ведет себя почти одинаково. Нарастание износостойкости для всех анализируемых технологий носит примерно прямолинейный характер.

Следует полагать, что оставшаяся после истирания наплавленная область будет способствовать созданию композиционного поверхностного слоя, способствующего увеличению сопротивления абразивному изнашиванию.

Объяснение этому дано ранее по тексту и базируется на свойствах наплавленной области, демонстрируемых рисунком 98. По мере истирания валиков интенсивность изнашивания для различных технологий ведет себя неодинаково



Рисунок 98 – Отвал после истирания наплавленной области

4.3.11 Изучение износов по массе

Эксперименты проводились в период весенней вспашки, на почвах Юго-западного региона Нечерноземной зоны России, на полях с преобладанием супесей. Опытные отвалы устанавливались на плуги ПЛН-3-35, которые агрегировались тракторами МТЗ-82, со скоростями движения пахотного агрегата 5-7 км/ч. Испытаниям подвергалось по три отвала восстановленных и упрочненных согласно приведенным выше технологиям.

Причинами снятия отвалов с эксплуатации, как следует из таблицы, являются сквозные протирания (таблица 19 – технологические варианты а, в), образование лучевидного износа (таблица 19 – технологические варианты б, г) и достигшие предельной остаточной толщины носовой части (таблица 19 вариант д).

Дефекты образуются на поверхности вставок в носовой части восстановленных и упрочненных отвалов, эта же область износа характерна и для отвалов заводского исполнения (таблица 19). (Протирание отвалов является недопустимым изъяном т.к. происходит нарушение качества вспашки).

Максимальная наработка до утраты ресурса (Т) соответствует отвалам, подвергшимся дополнительным, упрочняющим воздействиям путем наплавочного армирования, ранее использовавшегося как метод упрочнения лемехов, и сравнима по величине с таким же показателем у отвалов в состоянии поставки. (Здесь нужно обратить внимание на то, что контактирующая поверхность отвала заводского исполнения подвергается цементации, обеспечивающей твердость не менее 50 HRC).

Следует полагать, что такое значение (Т_{max}) после армирования объясняется следующими факторами: имеет место упрочняющий эффект за счет повышения твердости армируемой зоны; уменьшается путь контактирования абразивной частицы с рабочей поверхностью отвала из-за проскальзывания по

поверхности валиков; создается слой абразивной среды между валиками, имеющий меньшее количество частиц и создающий меньшее давление на рабочую поверхность (своего рода взвесь); износ валиков происходит, в первую очередь, из-за равнопрочности профильной поверхности.

Сравнительно невысокие значения наработки до отказа у восстановленных отвалов без упрочнения (18га) объясняются недостаточно высокой износостойкостью металла вставок. Хотя вставки и вырезались из верхней части крыла отвала, цементированный слой будет уже частично изношен.

Отвал в состоянии поставки показал (Т) равное 22 га (таблица 19), обусловленную наличием цементированного слоя.

Таким образом, детали, не прошедшие упрочнение армированием, имеют предельную наработку в объеме 80% от отвалов в состоянии поставки. Такое значение (Т) следует считать приемлемым исходя из невысокой стоимости восстановленного изделия. В случае армирования Т соответствует аналогичному показателю стандартных отвалов.

Минимальные потери массы присущи отвалу в состоянии поставки, что связано опять же с наличием высокой твердости цементованного слоя и следовательно меньшим истиранием поверхности (таблица 19).

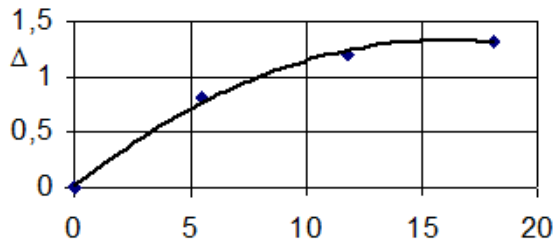
Наплавка упрочняющих валиков приводит к увеличению износа по массе, что объясняется износом не только металла отвала, но и металла валиков.

Потери массы у неармированных восстановленных отвалов превышают такие же потери у стандартных деталей примерно на 200 г, но наработка при этом составляет 18 га против 22 га. Увеличение Δm связано с полным отсутствием или частичным отсутствием твердого поверхностного слоя.

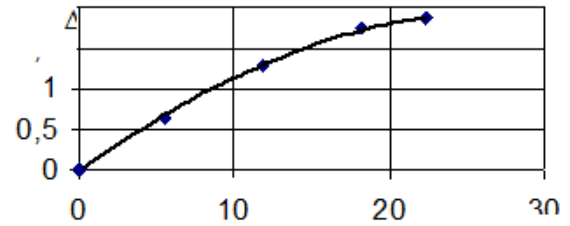
Для отвалов восстановленных и упрочненных по различным технологическим приемам износ по массе Δm происходит по параболической кривой (рисунок 99, а, б, в, г, д). Фактическая для всех деталей, подвергнутых восстановлению и достигших предельного состояния величина Δm находится в пределах 1,4-1,8 кг.

Таблица 19 - Причины отказа, износ по массе (Δm) до отказа (Т)

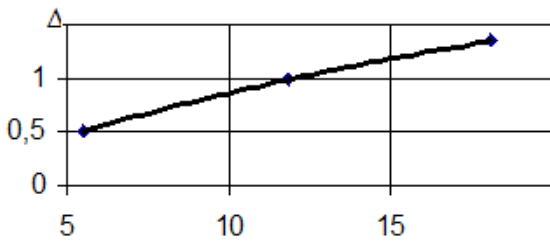
Технологический вариант	Δm , г	Т, га	Отвалы, после достижения предельного состояния	Причина отказа
а	1320	18		Протирание носка со стороны полевого обреза
б	1860	22,3		Образование лучевидного износа на вставке с остаточной толщиной около 1мм
в	1350	18		Сквозное протирание в области заправки лучевидного износа
г	1560	21,8		Образование лучевидного износа на вставке с остаточной толщиной около 1 мм
д	1150	22		Износ по толщине носовой части менее 2 мм



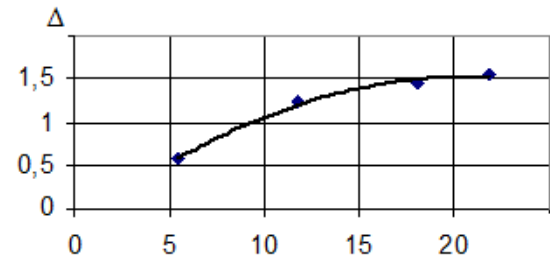
а)



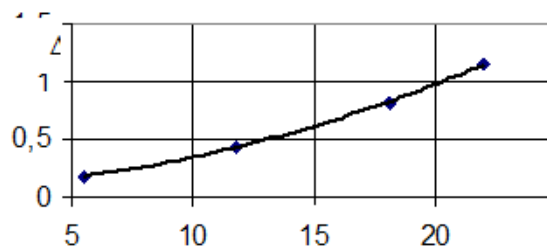
б)



в)



г)



д)

Рисунок 99 -Влияние наработки на изменения износов отвалов по массе (а, б, в, г, д – буквы соответствуют обозначению технологических вариантов

Рассмотрим особенности износа отвалов без упрочнения и после наплавки упрочняющих валиков. Отвалы без армирования имеют нарушение геометрической целостности, выражающейся в сквозном протирании и нарушении формы полевого обреза (таблица 19, технологические варианты а и в). Наплавка валиков позволяет сохранить геометрию деталей, установленную техническими нормативами, однако в нижней носовой части образуется лучевидный износ, ограничивающий наработку детали.

Наплавочное армирование обеспечивает снижение суммарного пути перемещения частиц почвенной массы с рабочей поверхностью отвала за счет увеличения контактов абразивной среды непосредственно с валиками. Кроме того в промежутках между валиками по-видимому абразивная среда будет представлять собой взвесь с относительно невеликим количеством частиц. Приведенные выше соображения дают основание полагать, что наличие валиков существенным образом тормозит изнашивание отвала по толщине. Это подтверждается большей наработкой армированных отвалов, которая превышает наработку восстановленных деталей без армирования примерно в 1,2 раза.

Упрочнение отвалов позволяет подвергать их повторному восстановлению путем заправки износа, тогда как отвалы не армированные требуют повторного вваривания вставки, усложняя тем самым технологический процесс.

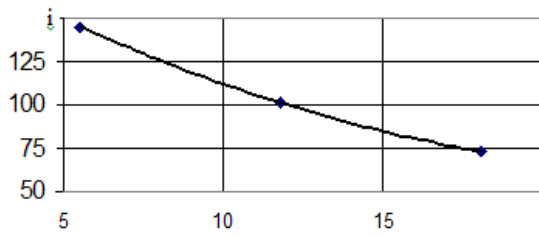
Поэтому в целях обеспечения ресурса восстановленного отвала, который не ниже чем у отвала заводского исполнения, рекомендуется проводить дополнительную операцию упрочнения наплавочным армированием рабочей поверхности.

Одной из основных триботехнических характеристик, определяющих стойкость к изнашиванию, является интенсивность изнашивания i .

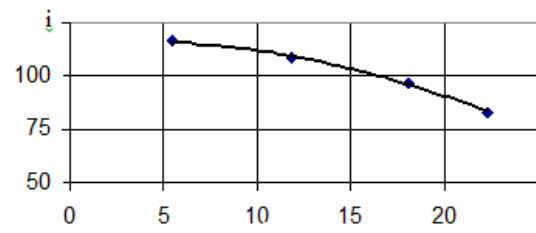
Эксплуатация отвалов на мало связных, песчаных почвах создает условия для высокой интенсивности их изнашивания, что отмечается на графиках (рисунки 100 а, б, в, г, д). Восстановленные детали, имеют начальную i в 3-5 раз превышающую интенсивность заводских отвалов. Наличие цементованного слоя создает условия для низкой i в сравнении с восстановленными деталями.

Наиболее высокая интенсивность i в период приработки поверхности отвала характерна для деталей, восстановленных по технологии «а», связанная прежде всего с низкой твердостью контактирующей с почвенной массой поверхности (рисунок 100а).

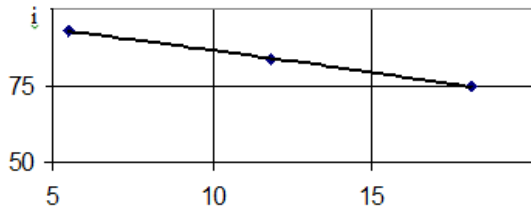
Наличие армирующих валиков, как следует из графиков, не оказывает существенного влияния на значение i оцениваемое потерей массы детали. Это объясняется равнопрочностью материала отвала и материала валиков (рисунок 100 а, б, в, г).



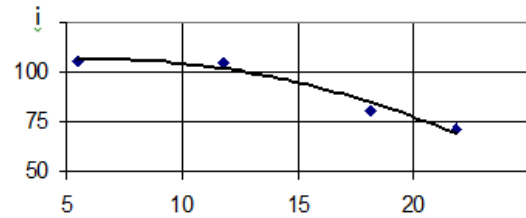
а)



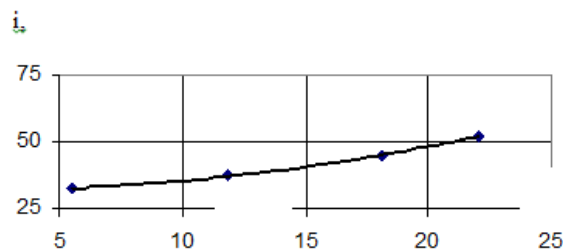
б)



в)



г)



д)

Рисунок 100 - Интенсивность изнашивания отвалов по массе (а, б, в, г, д – буквы соответствуют обозначению технологических вариантов)

Нужно отметить факт снижения интенсивности изнашивания для всех восстановленных изделий, связанный, по всей вероятности, с приработкой (адаптацией) этой поверхности к свойствам грунта (рисунок 100 а, б, в, г).

Отвалы же в состоянии поставки в отношении интенсивности изнашивания ведут себя иначе, чем подверженные восстановлению (рисунок 100д) и имеют рост i с увеличением наработки. К такому положению приводит все то же истирание цементованного слоя.

Износостойкость (I), как триботехнический критерий, в отношении отвалов не является величиной постоянной из-за многочисленности факторов, влияющих на процесс износа. Установлено, что I восстановленных отвалов возрастает по мере наработки вследствие достижения совместимости рабочей поверхности к обрабатываемой почве (рисунок 100). Напротив, стойкость к из-

нашиванию у отвалов в состоянии поставки снижается, в виду истирания твердого цементованного слоя.

Для более полной сравнительной оценки влияния различных технологий восстановления на износостойкость введем критерий (Δ) оценивающий прирост И в процессе эксплуатации. Показатель Δ вычисляется как разность между износостойкостью в начальный период пахоты ($I_{нач.}$) при наработке T и износостойкостью, когда отвал подлежит снятию с эксплуатации ($I_{кон.}$) (рисунок 101).

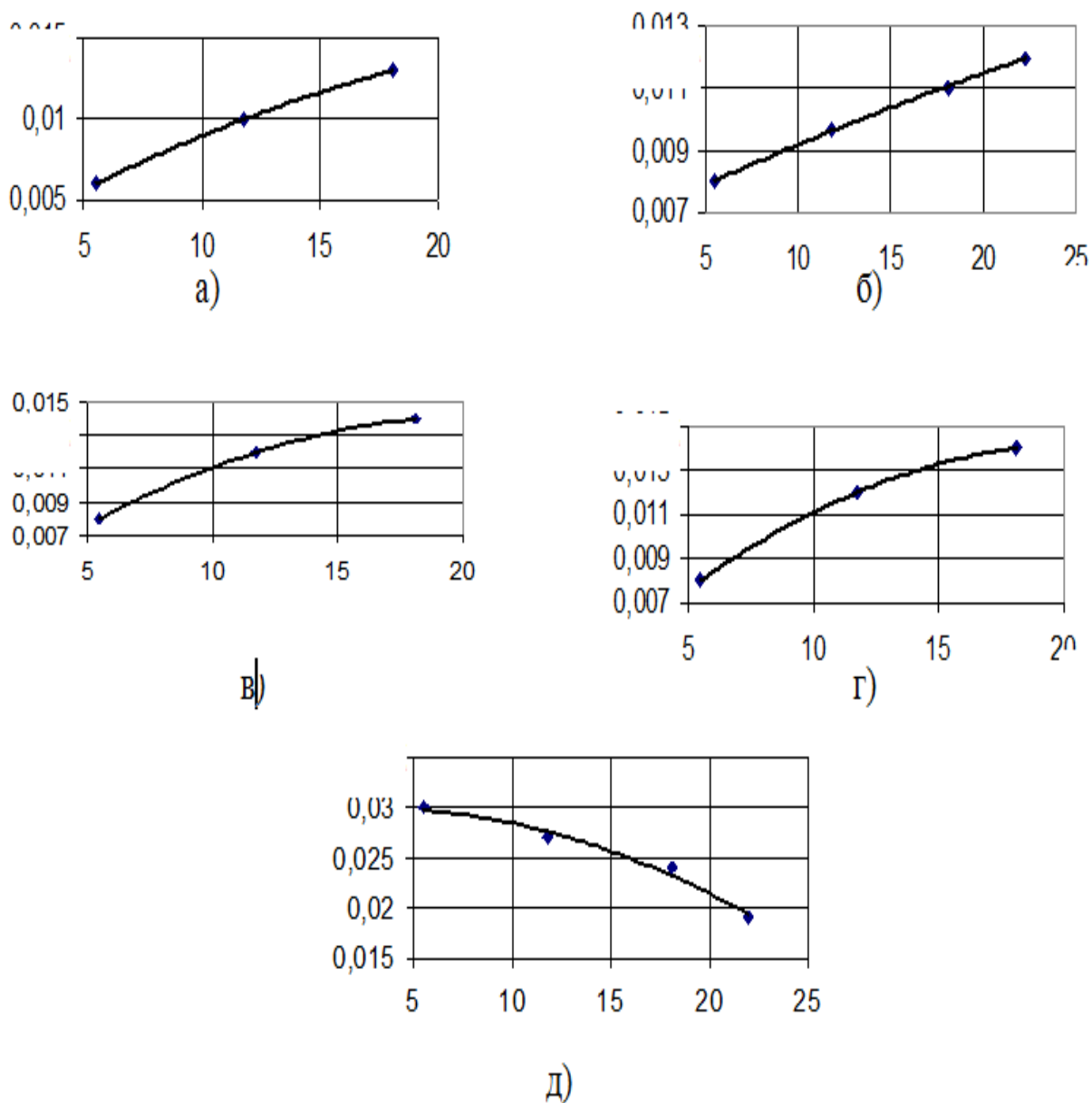


Рисунок 101 - Изменение износостойкости в функции наработки (а, б, в, г, д – буквы соответствуют обозначению технологических вариантов)

Максимальное значение Δ , но с отрицательным знаком соответствует отвалу заводского исполнения. Минус перед числом указывает на падение износостойкости (таблица 20). Начальная износостойкость упрочненных отвалов выше, чем у неупрочненных.

Таблица 20 - Износостойкость испытуемых отвалов

Технология	И - начальное	И - конечное	$\Delta = I_{\text{нач}} - I_{\text{кон.}}$
а	0,006	0,013	0,007
б	0,008	0,012	0,004
в	0,008	0,014	0,006
г	0,010	0,014	0,004
д	0,030	0,019	-0,011

Износостойкость восстановленных отвалов без упрочняющих воздействий возрастает на несколько большую величину в сравнении с армированными, что связано с большей потерей массы при истирании вследствие наличия армирующих валиков (таблица 20).

Таким образом: армирование восстановленных отвалов обеспечивает большую наработку по сравнению с неупрочненными деталями на 20%; наработка до наступления отказа восстановленных и упрочненных отвалов сравнима с такой же наработкой деталей в состоянии поставки; потеря массы в функции наработки изменяется по параболической кривой; интенсивность изнашивания и износостойкость не являются постоянными величинами.

Список используемой литературы

1. <https://universityagro.ru> дата обращения 09.11.21
2. Тори́ков, В. Е. Обработка почвы, посев и посадка полевых культур : монография / В. Е. Тори́ков, О. В. Мельникова. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 244 с.
3. Машины для обработки почвы посева и посадки : учебное пособие / А. Н. Цепляев, В. Г. Абезин, Д. В. Скрипкин, А. В. Харлашин. — Волгоград : Волгоградский ГАУ, 2015. — 148 с.
4. Николаев, В. А. Машины для обработки почвы. Теория и расчёт : учебное пособие / В. А. Николаев. — Ярославль : Ярославская ГСХА, 2014. — 358 с.
5. Солодун, В. И. Инновационные технологии обработки почвы и посева в системах земледелия : учебное пособие / В. И. Солодун, Т. В. Амакова, А. М. Зайцев. — Иркутск : Иркутский ГАУ, 2019. — 116 с.
6. Николаев, В. А. Совершенствование технических средств обработки почвы : монография / В. А. Николаев. — Ярославль : Ярославская ГСХА, 2010. — 244 с.
7. Системы севооборотов и обработки почвы в адаптивном земледелии : учебное пособие / составитель О. А. Ткачук. — Пенза : ПГАУ, 2015. — 118 с.
8. Орлов, Б. Н. прогнозирование долговечности рабочих органов мелиоративных почвообрабатывающих машин: дис. ... д-ра техн. наук / Б. Н. Орлов. — М., 2004. — 348 с.
9. Бернштейн, Д. Б. Лемехи плугов. Анализ конструкций, условий изнашивания и применяемых материалов [Текст] / Д. Б. Бернштейн, И. В. Лискин // Сельскохозяйственные машины и орудия: обзорн. информ. Сер. 2. — М.: ЦНИИТЭИ Тракторосельхозмаш, 1992. — 35 с.
10. Кленин, Н. И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины: учеб. пособие / Н. И. Кленин, В. Е. Егоров. — М., КолосС, 2004. — 464 с.
11. <https://universityagro.ru> Дата обращения 10.11.2021
12. Огрызков, Е. П. Агротехнические основы работоспособности лемеха

плуга: дис. ... д-ра с/х наук / Е.П. Огрызков. – Омск, 1969 – 392 с.

13. Нуралин, Б. Н. Проектирование плужных рабочих органов почвообрабатывающих машин. Совершенствование рабочих органов плугов для гладкой вспашки : монография / Б. Н. Нуралин, С. В. Олейников. — Уральск : ЗКАТУ им. Жангир хана, 2015. — 246 с.

14. Васильев, С. А. Машины для обработки почвы, защиты растений, внесения удобрений, посева и посадки, очистки зернового вороха : рабочая тетрадь для лабораторных работ. Ч. I : учебное пособие / С. А. Васильев, М. А. Канаев, Н. В. Крючина. — Самара : СамГАУ, 2018. — 91 с.

15. Кудзаев, А. Б. Совершенствование технологического процесса обработки почв, засоренных камнями, путем разработки пневматической предохранительной системы плуга общего назначения : монография / А. Б. Кудзаев, Д. В. Цгоев. — Владикавказ : Горский ГАУ, 2019. — 192 с.

16. Михальченков А.М., Жуков А.А., Михальченкова М.А. Технологические приемы армирования для повышения ресурса плужных лемехов // Ремонт. Восстановление. Модернизация. - 2007. - № 12. - С. 10-12.

17. Козарез И.В., Михальченков, А.М. Обзор способов восстановления плужных лемехов // Труды ГОСНИТИ. - 2012. - Т. 109. № 2. - С. 30-34.

18. Способ восстановления плужных лемехов // Патент России №2412793. 2011. Бюл. № 10. / Белоус Н.М., Михальченков А.М., Кожухова Ю.И., Козарез И.В.

19. Михальченков А.М., Козарез И.В., Тюрева А.А. Критерии предельного состояния лемеха // В сборнике: Научное обеспечение агропромышленного производства. материалы Международной научно-практической конференции. Ответственный за выпуск И.Я. Пигорев. - 2010. - С. 278-282.

20. Михальченков А.М., Козарез И.В., Горбачев Р.В. Влияние наплавочного армирования на изнашивание восстановленных лемехов компании Фогель и Ноот //Труды ГОСНИТИ. - 2013. - Т. 111. - № 1. - С. 50-55.

21. Способ повышения ресурса плужных лемехов песчано-клеевыми композициями // Патент России № 2463754. 2012. Бюл. № 4/ Михальченков А.М., Михальченкова М.А., Кожухова Ю.И., Козарез И.В.

22. Михальченков А.М. Восстановление деталей двухслойной наплавкой // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 1995. - № 1. - С. 22-23.

23. Михальченков А.М., Феськов С.А., Рыжик В.Н. Компьютерные технологии при измерении износов стрельчатых лап культиваторов // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. - 2016. - № 2 (54). - С. 89-93.

24. Михальченков А.М., Феськов С.А., Осипов А.А., Кононенко А.С. Влияние эпоксидно-песчаных покрытий различных составов на процесс изнашивания, специфику износа и ресурс плужных лемехов // Клеи. Герметики. Технологии. - 2020. - № 1. - С. 45-48.

25. Феськов С.А., Кожухова Н.Ю., Михальченкова М.А. Методы восстановления с одновременным упрочнением составных лемехов импортного производства // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. - 2020. - № 1 (19). - С. 65-71.

26. Козарез И.В., Феськов С.А. Концепция повышения долговечности деталей рабочих органов почвообрабатывающих орудий (плужные лемеха, плужные отвалы, стрельчатые лапы культиваторов) // В сборнике: ИННОВАЦИИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОРЫВ В АПК. Сборник научных трудов международной научно-практической конференции. - 2020. - С. 148-151.

27. Михальченков А.М., Феськов С.А., Козарез И.В. Разработка композита на основе эпоксидной матрицы с песчаным наполнителем, обеспечивающего максимальные значения адгезионной прочности и абразивной износостойкости // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2021. - № 3. - С. 28-33.

28. Аулов В.Ф., Лялякин В.П., Михальченков А.М., Феськов С.А., Тюрева А.А. Повышение ресурса и стойкости абразивному изнашиванию долот лемехов наплавкой электродами с борсодержащей обмазкой // Технология машиностроения. - 2019. - № 11. - С. 18-21.

29. Михальченков А.М., Феськов С.А., Козарез И.В., Ториков В.Е. Влияние термоупрочнения и знакопеременных эксплуатационных нагрузений стали 65Г на микротвердость области, наплавленной малоуглеродистыми электрода-

ми // Технология машиностроения. - 2020. - № 1. - С. 11-15.

30. Наноматериалы и нанотехнологии : учебник для вузов / Е. И. Пряхин, С. А. Вологжанина, А. П. Петкова, О. Ю. Ганзуленко ; под редакцией Е. И. Пряхина. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 372 с.

31. Сидоров, С. А. Повышение работоспособности и долговечности дисков почвообрабатывающих машин / С. А. Сидоров // Достижения науки и техники АПК. – 1998. – № 6. – С. 32-33.

32. Сорокин, Г. М. Вопросы методологии при исследовании изнашивания абразивом / Г. М. Сорокин // Трение и износ. - 1988. - № 5. - С. 779-786.

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

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

35. Тюрева А.А., Козарез И.В., Дьяченко А.В. Твердость лемехов компании VOGEL & NOOT // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. - 2016. - № 3 (55). - С. 60-65.

36. Козарез И.В., Новиков А.А., Михальченкова М.А. Повышение твердости компенсирующих элементов при восстановлении деталей // Сельский механизатор. - 2017. - № 3. - С. 34-35.

37. Козарез И.В., Ториков В.Е., Михальченкова М.А. Анализ и особенности износов плужных лемехов различных конструкций и динамика их изнашивания // Труды инженерно-технологического факультета Брянского государственного аграрного университета. - 2015. № 1. - С. 126-154.

38. Михальченков А.М., Тюрева А.А., Козарез И.В., Михальченкова М.А. Некоторые причины повышенного изнашивания плужных лемехов // Достижения науки и техники АПК. - 2007. - № 8. С. 43-45.

39. Михальченков А.М., Тюрева А.А., Козарез И.В. Повышение износостойкости плужных лемехов технологическими методами // Вестник Брянской

государственной сельскохозяйственной академии. - 2015. - № 4. - С. 50-52.

40. Михальченков А.М., Козарез И.В., Будко С.И., Ковалев А.П. Структура и свойства одно- и двухслойной износостойкой наплавки при восстановлении деталей // Упрочняющие технологии и покрытия. - 2012. - № 1 (85). - С. 30-32.

41. Михальченков А.М., Комогорцев В.Ф., Козарез И.В. Повышение износостойкости плужных лемехов получением биметаллических покрытий наплавкой // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. - 2007. - № 1 (6). - С. 42-43.

42. Патент РФ № 2142213 10.12.1999.

43. Патент РФ № 95285 15.02.2010

44. Патент РФ 90287 10.01.2010

45. Справочник технолога-машиностроителя / А. Г. Суслов, А. Г. Косилова, Р. К. Мещеряков и др.; под ред. А. М. Дальского. – М., 2001. - Т. 2.

46. Сидоров, С. А. Технический уровень и ресурс рабочих органов сельскохозяйственных машин / С. А. Сидоров // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 1998 – № 3 - С. 29.

47. Бельченко, С. А. Развитие АПК брянской области / С. А. Бельченко, И. Н. Белоус, М. П. Наумова. // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. - 2015. - № 2-2. - С. 32-36.

48. Машиностроение. Т. IV. Сельскохозяйственные машины и оборудование: энциклопедия / под ред. И. П. Ксеновича. – М.: Машиностроение, 1998. – 720 с.

49. Михальченков А.М., Тюрева А.А. Оптимизация технологии наплавочного армирования носка плужного лемеха // Ремонт. Восстановление. Модернизация. - 2009. № 1. - С. 23-27.

50. Новиков А.А., Тюрева А.А., Михальченкова М.А., Гринь А.М. Термоупрочнение изготовленных из вторичного сырья долот штамповарных лемехов // Сельский механизатор. - 2016. - № 10. - С. 28-29.

51. Михальченков А.М., Тюрева А.А., Михальченкова М.А. Новые способы упрочнения плужных лемехов // Тракторы и сельскохозяйственные маши-

ны. - 2007. - № 12. - С. 39-40.

52. Аулов В.Ф., Лялякин В.П., Михальченков А.М., Феськов С.А., Тюрева А.А. Повышение ресурса и стойкости к абразивному изнашиванию долот лемехов наплавкой электродами с борсодержащей обмазкой // Сварочное производство. - 2019. - № 7. - С. 28-31.

53. Михальченков А.М., Феськов С.А., Тюрева А.А. Методы снижения интенсивности изнашивания стрелчатых лап культиваторов на стадии изготовления // Вестник АПК Верхневолжья. - 2015. - № 3 (31). - С. 79-82.

54. Михальченков А.М., Тюрева А.А., Кожухова Н.Ю., Орехова Г.В. Технологическая эффективность наплавочного армирования носка плужного лемеха при вспашке тяжелых суглинистых почв // Тракторы и сельхозмашины. - 2015. - № 12. - С. 33-37.

55. Михальченков А.М., Тюрева А.А., Козарез И.В., Михальченкова М.А. Некоторые причины повышенного изнашивания плужных лемехов // Достижения науки и техники АПК. - 2007. - № 8. - С. 43-45.

56. Ткачев, В. Н. Износ и повышение долговечности деталей сельскохозяйственных машин / В. Н. Ткачев. – М.: Машиностроение, 1971. – 264 с.

57. Тененбаум, М. М. Сопротивление абразивному изнашиванию / М. М. Тененбаум. – М.: Машиностроение, 1978. – 271 с.

58. Сидоров, С. А. Повышение долговечности и работоспособности рабочих органов почвообрабатывающих машин и орудий: дис. ... д-ра техн. наук / С. А. Сидоров. – М., 2007. – 392 с.

58. Сидоров, С. А. Повышение долговечности и работоспособности рабочих органов почвообрабатывающих машин и орудий: дис. ... д-ра техн. наук / С. А. Сидоров. – М., 2007. – 392 с.

59. Методика установления предельных состояний рабочих органов почвообрабатывающих машин / М. М. Тененбаум, С. М. Кауфман и др. – М.: ВИСХОМ, 1985. – С. 33.

60. Михальченков, А. М. О критериях предельного состояния плужных лемехов, эксплуатируемых на почвах юго-западного региона России / А. М.

Михальченков, Н. Ю. Кожухова, С. И. Будко // Достижение науки и техники в АПК. – 2008. – № 1. — С. 43-46.

61. Карпенко, А. Н. Сельскохозяйственные машины: учеб. пособие / А. Н. Карпенко, В. М. Халанский. – М., Колос, 1983. – 495 с.

62. Огрызков, Е. П. Влияние физико-механических свойств почв на их изнашивающую способность / Е. П. Огрызков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1969. – № 7. – С. 35-41.

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

64. Тюрёва А.А., Прудников С.Н., Паршикова Л.А. Методика изучения износов и твердости отвалов после их эксплуатации и восстановления // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. - 2016. - № 2 (54). - С. 97-102.

65. Михальченков А.М., Феськов С.А., Нечаев А.Ю., Бирюлин А.А., Алексеенко А.А. Влияние технологических вариантов восстановления отвалов различного функционального назначения на их ресурс // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. - 2018. - № 6 (70). - С. 72-76.

66. Бернштейн, Д. Б. Абразивное изнашивание лемешного лезвия и работоспособность плуга / Д. Б. Бернштейн // Тракторы и с.-х. машины. – 2002. – № 6. – С. 39-42.

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

68. Буренко, Л. А. Ремонт сельскохозяйственных машин / Л. А. Буренко, В. Н. Винокуров. – М.: Россельхозиздат, 1981. – 189 с.

69. Черенда, Н. Н. Методы механических испытаний материалов : учебное пособие / Н. Н. Черенда, Н. И. Поляк, В. И. Шиманский. — Минск : БГУ, 2017. — 135 с.

70. Михальченков А.М., Локтев А.А., Феськов С.А., Ермакова Т.А. К вопросу о форме частиц кварцевой фракции почвы и их влиянии на изнашивание

деталей рабочих органов почвообрабатывающих орудий // Труды ГОСНИТИ. - 2017. - Т. 129. - С. 142-147.

71. Михальченков А.М., Феськов С.А., Орехова Г.В., Шукюров Д.Р. Исследование влияния формы абразивной частицы почвы на глубину проникновения в поверхность трения исполнительных органов почвообрабатывающих орудий // Техника и оборудование для села. - 2018. - № 1. - С. 34-37.

72. Некрасов, С. С. Технология сельскохозяйственного машиностроения: учеб. пособие / С. С. Некрасов, И. А. Приходько, Л. Г. Баграмов. – М.: КолосС, 2004. – 360 с.

73. Некрасов, С. С. Технология сельскохозяйственного машиностроения: учеб. пособие / С. С. Некрасов, И. А. Приходько, Л. Г. Баграмов. – М.: КолосС, 2004. – 360 с.

74. Аулов В.Ф., Лялякин В.П., Михальченков А.М., Феськов С.А., Тюрева А.А. Повышение ресурса и стойкости абразивному изнашиванию долот лемехов наплавкой электродами с борсодержащей обмазкой // Технология машиностроения. - 2019. - № 11. - С. 18-21.

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

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

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

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

79. Богачев, И. Н. Исследование износостойкости сталей при абразивном изнашивании / И. Н. Богачев, Л. Г. Журавлев // Повышение износостойкости и

срока службы машин. – Киев: Изд-во АН УССР, 1960. – С. 92-101.

80. Михальченков А.М., Феськов С.А., Тюрева А.А., Смирнов А.Е., Мажейко А.В. Влияние эпоксидно-песчаных покрытий различных составов на процесс, специфику износа и ресурс цельнометаллических плужных лемехов // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. - 2019. - № 3 (73). - С. 46-51.

81. Михальченков А.М., Феськов С.А., Козарез И.В. Разработка композита на основе эпоксидной матрицы с песчаным наполнителем, обеспечивающего максимальные значения адгезионной прочности и абразивной износостойкости // Ремонт. Восстановление. Модернизация. - 2021. - № 3. - С. 28-33.

82. Бернштейн, Д. Б. Абразивное изнашивание лемешного лезвия и работоспособность плуга / Д. Б. Бернштейн // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2002. – № 6. – С. 39.

83. Морозов, С. В. Повышение износостойкости и долговечности литых деталей и инструмента за счет использования новых легированных Fe–C сплавов: автореф. дис. □ канд. техн. наук / С. В. Морозов. – Брянск, 2003. – 16 с.

84. Тешаев, С. Н. Исследование абразивной износостойкости полевых досок, пяток и лемехов тракторных плугов из аустенитных маргонцовистых чугунов: автореф. дис. канд. техн. наук / С. Н. Тешаев. – Л., 1966. – 16 с.

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

86. Рабинович, А. Ш. Стойкость и самозатачиваемость плужных лемехов и других режущих деталей сельскохозяйственных машин / А. Ш. Рабинович // Труды ГОСНИТИ. – М.: ГОСНИТИ, 1967. – Т. 19. – С.136-142.

87. Бернштейн, Д. Б. Повышение срока службы плужных лемехов / Д. Б. Бернштейн // Тракторы и с.-х. машины. – 1998. – № 7. – С. 30-33.

88. Войнов, Б. А. Износостойкие сплавы и покрытия / Б. А. Войнов. – М.: Машиностроение, 1980. – 120 с.

89. Казинцев, Н. В. Повышение долговечности плужных лемехов: авто-

реф. дис. □ канд. техн. наук / Н. В. Казинцев. – Ростов н/Д, 1970. – 15 с.

90. Михальченков А.М., Соловьев Р.Ю., Бирюлина Я.Ю. Восстановление отвалов абразивостойким дисперсионно-упрочненным композитом на основе эпоксидной смолы // Тракторы и сельхозмашины. -2015. - № 3. - С. 49-51.

91. Галимов, Э. Р. Современные конструкционные материалы для машиностроения : учебное пособие / Э. Р. Галимов, А. Л. Абдуллин. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 268 с.

92. Михальченков А.М., Ковалев А.П., Козарез И.В. Геометрические параметры лучевидного износа лемехов // Тракторы и сельхозмашины. - 2011. - № 1. - С. 44-47.

Научное издание

Михальченков Александр Михайлович
Козарез Ирина Владимировна
Тюрева Анна Анатольевна
Феськов Сергей Александрович

ИЗНОСЫ ДЕТАЛЕЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПЛУГОВ

Монография
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

ISBN 978-5-88517-325-4



Редактор Павлютина И.П.

Подписано к печати 18.11. 2021. Формат 60x84 1/16. Бумага печатная.
Усл. п.л. 10,05. Тираж 550. Издат. №7132.

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