2. Resheniya dlya tochnogo zemledeliya ot "AGRI 2.0" [Ofic. sajt]. URL: www.agri2.com
3. Gordeev A.S., Mishin B.S. Sistema avtomaticheskogo pozicionirovaniya rabochego organa dlya otdeleniya otvodkov // Materialy nauchno-prakticheskoj konferencii v ramkah 11-oj Vserossijskoj vystavki "Den' sadovoda-2016", 7 sentyabrya 2017 g.
4. Gordeev A.S. Modelirovanie v agroinzhenerii.: SPb.: Lan', 2014. 384s.
5. Mishin B.S. Matematicheskaya model' // Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2017. – №4 – С.121-126.

Сведения об авторах
Принадлежность к организации

Гордеев Александр Сергеевич – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск, e-mail: gorde2020@gmail.com.

Мишин Борис Сергеевич – аспирант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск, e-mail: boris.sergeewitch@yandex.ru.

Author credentials
Affiliations

Gordeev Alexander – Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Michurinsky State University of Agriculture”, Russia, Michurinsk, e-mail: gorde2020@gmail.com;

Mishin Boris Sergeevich – Postgraduate Student of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Michurinsky State University of Agriculture”, Russia, Michurinsk, e-mail: boris.sergeewitch@yandex.ru

Поступила в редакцию (Received): 08.07.2019 Принята к публикации (Accepted): 12.08.2019

УДК 631.316.022
DOI: 10.35887/2305-2538-2019-4-33-43

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗНОСА L-ОБРАЗНОГО НАРУЖУ ОТОГНУТОГО НОЖА ВЕРТИКАЛЬНО-ФРЕЗЕРНОГО КУЛЬТИВАТОРА

[1]Ожерельев Виктор Николаевич
[2]ОжерельеваМарина Викторовна
[1]ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет»
[2]ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»

Реферат. *Специфические особенности процесса изнашивания рабочих органов пропашных вертикальных фрез практически не исследованы. Авторы провели измерение основных параметров изношенного L-образного наружу отогнутого ножа и сопоставили их с соответствующими параметрами нового рабочего органа. Обработка результатов измерений осуществлялась в программах Excel и Компас 3D. Путем взвешивания рабочих органов установлено, что масса предельно изношенного ножа на 7% его исходной массы. Заметно изнашивается только подрезающее лезвие, а поперечное сечение стойки остается практически неизменным. Установлено, что интенсивность изнашивания подрезающего лезвия увеличивается по мере удаления от стойки ножа, а режущая кромка подрезающего лезвия принимает по мере износа форму экспоненты. Для степени износа его поперечных сечений по мере удаления от стойки характерна полиномиальная зависимость второго порядка. При измерениях выявлено, что на наружном конце режущей кромки возникает и развивается по мере износа лезвия нижняя площадка затупления. Для нее характерен отрицательный угол заточки и уменьшение ширины по мере приближения к стойке ножа. Вследствие этого процесс взаимодействия режущей кромки с почвой вырождается в ее смятие и вдавливание значительных объемов в нижний слой, с образованием аналога «плужной подошвы». Это существенно увеличивает энергоемкость*

процесса. Целесообразно осуществить мероприятия по увеличению износостойкости наружного конца подрезающего лезвия и обеспечению процесса его самозатачивания без образования нижней площадки затупления. Для этого рекомендовано на нижнюю поверхность режущей кромки нанести слой износостойкого материала, а наружный конец лезвия подвегнуть локальному термоупрочнению. При этом ширина полосы износостойкого материала может быть уменьшена по мере приближения к стойке ножа.

Ключевые слова: *вертикальная фреза, L-образный нож, абразивное изнашивание, нижняя площадка затупления, подрезающее лезвие*

RESEARCH OF L-SHAPED KNIFE WEAR PROCESS FOR VERTICAL-CUTTER CULTIVATOR, BENT OUT

[1]Ozherelev Viktor
[2]Ozhereleva Marina

[1]FSBEI HE "Bryansk State Agrarian University"
[2]FSBEI HE "Bryansk State Technical University"

Abstract. *The specific features of the process of wear of the working bodies of tilled vertical mills are practically not investigated. The authors measured the basic parameters of a worn out L-shaped outwardly bent knife and compared them with the corresponding parameters of the new working body. Processing of measurement results was carried out in Excel and Compass 3D. It is established by weighing the working bodies that the mass of an extremely worn knife is 7% less than its initial mass. Only the undercutting blade is noticeably worn out, and the cross-section of the stand remains almost unchanged. It has been established that the wear rate of the undercutting blade increases with distance from the knife stand, and the cutting edge of the undercutting blade takes the form of an exponent as it wears. The second-order polynomial dependence is characteristic of the degree of wear of its cross sections as the distance from the rack increases. It was revealed by measurements that at the outer end of the cutting edge, a lower blunt plate appears and develops as the blade wears. Negative sharpening angle and reduction in width as it approaches the knife stand is characteristic of it. As a consequence, the process of interaction of the cutting edge with the soil degenerates into its collapse and indentation of significant volumes into the lower layer, with the formation of an analogue of the "plow sole". This significantly increases the energy intensity of the process. It is advisable to carry out measures to increase the wear resistance of the outer end of the pruning blade and to ensure the process of its self-sharpening without forming a lower blunting platform. To this end, it is recommended to apply a layer of wear-resistant material on the lower surface of the cutting edge and lift the outer end of the blade to local thermal hardening. The bandwidth of the wear-resistant material can be reduced as it approaches the knife holder at this time.*

Keywords: *vertical milling cultivator, L-shaped knife, abrasive wear, lower surface of blunting, undercut blade*

Введение. Для рабочих органов почвообрабатывающих машин, непосредственно взаимодействующих с почвой, характерен процесс абразивного износа. Это относится и к ножам почвенных фрез, длина фактической траектории взаимодействия которых с почвой существенно больше пути, проходимого почвообрабатывающим агрегатом в поступательном движении.

Кроме того, для рабочих органов фрез характерна высокая скорость движения относительно абразивного материала. Так, если лемех плуга перемещается в почве с максимальной скоростью порядка 2,8 м/с, то наружная кромка подрезающего лезвия L-образного ножа вертикальной фрезы, ротор которой вращается с частотой 150 об/мин, при диаметре порядка 0,6 м имеет скорость более 4,7 м/с. Горизонтальные фрезы, с диаметром барабана порядка 0,5 м и частотой его вращения 250 об/мин имеют скорость по концам ножей порядка 6,5 м/с. Вследствие этого, подрезающее лезвие ножа фрезы изнашивается не менее интенсивно, чем лемех плуга (рисунок 1). При этом характеру износа лемеха плуга посвящены многочисленные исследования [1, 2], тогда как износ ножей вертикальной фрезы до последнего времени был практически не исследован. Это обусловлено, в первую очередь, малой распространенностью этого типа машин. При этом вертикальные фрезы,

оборудованные L-образными наружу отогнутыми ножами, актуальны пока только для ягодоводства.

Авторы обладают многолетним опытом производственной эксплуатации вертикальной фрезы на плантации малины в крестьянском (фермерском) хозяйстве «Ягодное» (Брянская область) [3, 4]. По мере совершенствования конструктивно-компоновочных решений машины [5] надежность ее работы возросла на столько, что первоочередной задачей стало увеличение износостойкости ножей. Для ее решения следовало предварительно изучить специфические особенности процесса их изнашивания.

Материал и метод. Объектом исследования являются предельно изношенный и новый L-образный наружу отогнутый нож вертикальной фрезы. Предметом исследования является характер износа различных сечений подрезающего лезвия ножа. Использованы метод визуальной оценки, взвешивания и измерения характерных размерных параметров в разных сечениях. Результаты обработаны на ПК в программах Excel и Компас 3D.

Результаты и их обсуждение Характерная проекция подрезающего лезвия нового и изношенного лезвия на горизонтальную плоскость представлена на рисунке 1.

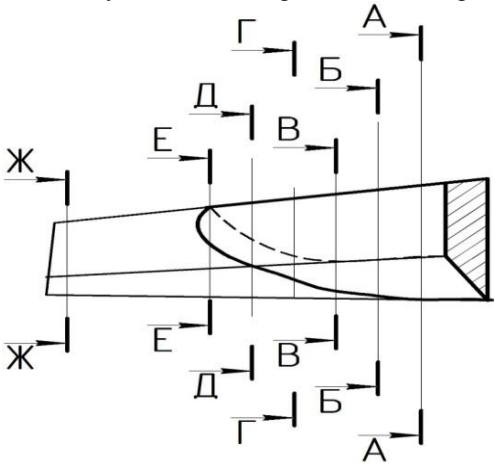

Рисунок 1 – Совмещение проекций изношенного (утолщенная линия) и нового (линия основной толщины) подрезающего лезвия L-образного наружу отогнутого ножа вертикальной фрезы

Путем взвешивания рабочих органов установлено, что масса предельно изношенного ножа на 0,1 кг меньше, чем нового, что составляет 7% от его исходной массы. При этом стойка практически остается неизменной, а все изменения касаются только подрезающего лезвия. Более того, интенсивность и характер износа в разных его частях существенным образом отличаются.

Вследствие износа, режущая кромка приняла криволинейную форму. Обработка результатов измерения в программе Excel позволяет с высокой степенью адекватности (R^2 = 0,9751) констатировать, что режущая кромка предельно изношенного лезвия *L*-образного ножа фрезы имеет экспоненциальную форму (рисунок 2), аппроксимированную следующей формулой

$$y = 0{,}1775e^{0{,}0752x},$$

где *y* – износ лезвия по ширине, мм; *x* – расстояние от стойки ножа, мм.

Даже визуально заметно, что степень износа подрезающего лезвия в разных сечениях (по мере удаления от стойки на рисунке 1) разная. При этом только одна горизонтальная проекция режущей кромки, не позволяет наиболее адекватно оценить степень износа подрезающего лезвия с точки зрения потери металла, поскольку не может быть учтена толщина оставшегося материала.

Для получения более адекватной оценки степени потери металла целесообразно сопоставлять площадь поперечного сечения нового и изношенного лезвия на одинаковом удалении от стойки ножа. С этой целью на рисунке 1 выполнены учетные сечения, рассекающие два совмещенных лезвия (новое и изношенное), обозначенные как *А-А* … *Е-Е*. Расстояния между соседними сечениями равно 10 мм. Кроме того, выполнено сечение вблизи наружного конца нового лезвия (*Ж-Ж*).

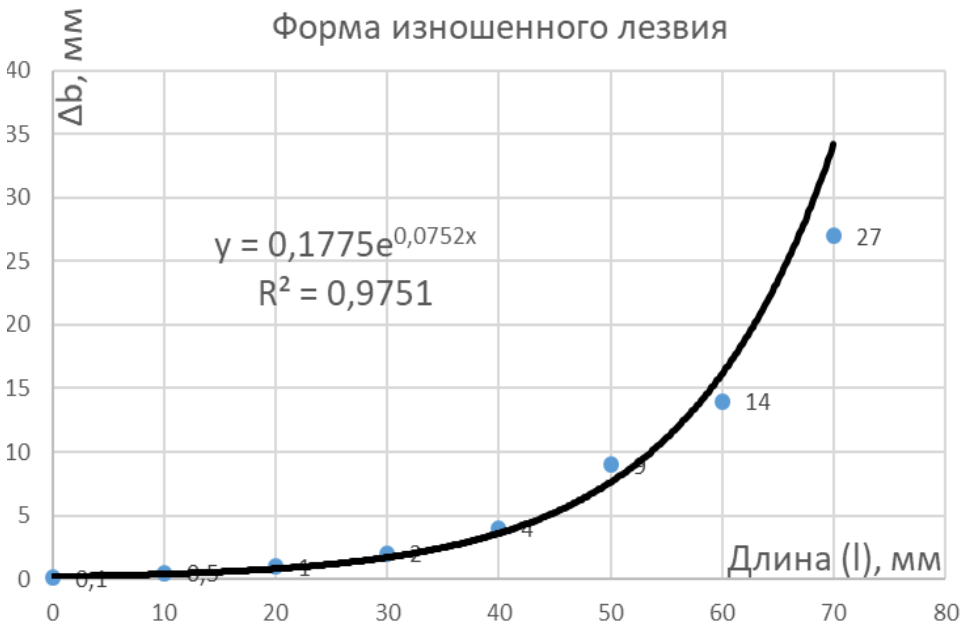

Рисунок 2 – Экспоненциальная форма режущей кромки изношенного лезвия

Использовалась следующая методика измерения. Измеряемый нож устанавливали на ровной горизонтальной площадке так, чтобы (если смотреть на плоскость стойки в перпендикулярном к ней направлении) ее режущая кромка была вертикальной (совмещалась с отвесом), а режущая кромка подрезающего лезвия касалась при этом поверхности площадки.

При измерении изношенного ножа в ряде случаев контакт с площадкой режущей кромки *B* был невозможен (рисунок 3) вследствие возникновения в результате износа нижней площадки затупления *AB* с отрицательным передним углом $\beta_п$. В этом случае нож опускался до обеспечения контакта с площадкой для самой нижней точки *A* данного поперечного сечения. Замеры по схеме, изображенной на рисунке 3, выполняли с помощью штангенциркуля, а их результаты были сведены в таблицу 1.

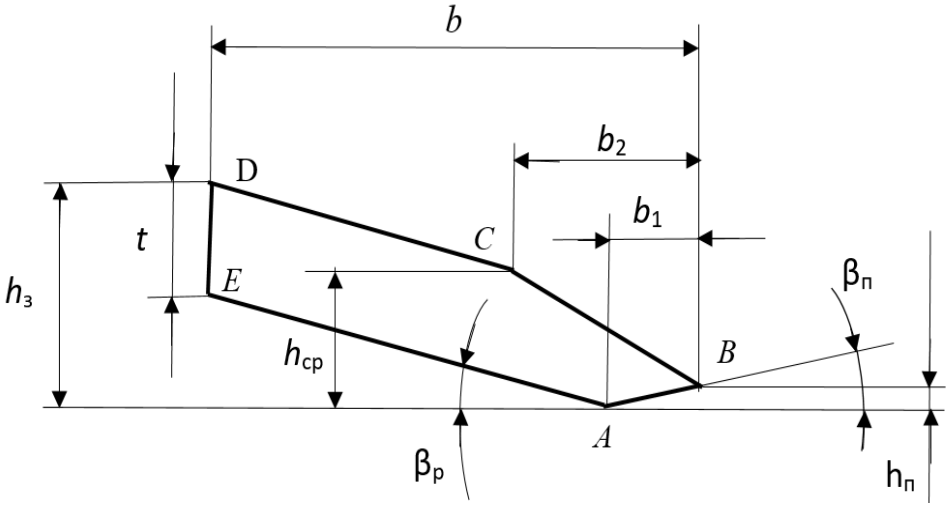

Рисунок 3 – Схема измерения поперечного сечения подрезающего лезвия *L*-образного наружу отогнутого ножа вертикальной фрезы

Таблица 1 – Результаты измерения поперечных сечений подрезающего лезвия нового и изношенного ножа вертикальной фрезы

Сечение	Измеряемые параметры новый нож/изношенный, мм						
	b	t	$h_з$	$h_{ср}$	b_2	b_1	$h_п$
А - А	40,6	9,7	14,2	10,2	15	-	-
	41	9,8	12,3	9,1	16	0	0
Б - Б	38,2	9,5	13,9	9,8	14,3	-	-
	38	8,5	11,6	8,8	15,7	0	0
В - В	36,6	9,2	13,6	9,3	13,6	-	-
	34,3	8,1	11,2	8,2	13,5	1,5	0,5
Г - Г	34,8	8,8	13,3	8,8	12,8	-	-
	30	7,1	9,8	7,4	12,5	3	1,0
Д - Д	33,1	8,4	13	8,4	12	-	-
	23,5	5,5	8,3	6	11	6,2	2,2
Е - Е	31,2	8,1	12,7	7,9	11,2	-	-
	14,9	4,7	6,3	5,2	9,4	9	2,8
Ж - Ж	23,6	6,6	11,5	6	8	-	-

Парадоксальным является то, что, несмотря на формирование нижней площадки затупления (имеющей отрицательный угол $\beta_п$), режущая кромка, перемещаясь вверх (в точку B), сохраняет при этом остроту заточки. То есть, по сути, наблюдается эффект самозатачивания или перетачивания лезвия в соответствии с распределением интенсивности абразивных воздействий. При этом ширина (b_1) и высота ($h_п$) площадки затупления увеличиваются по мере удаления от стойки (рисунок 4).

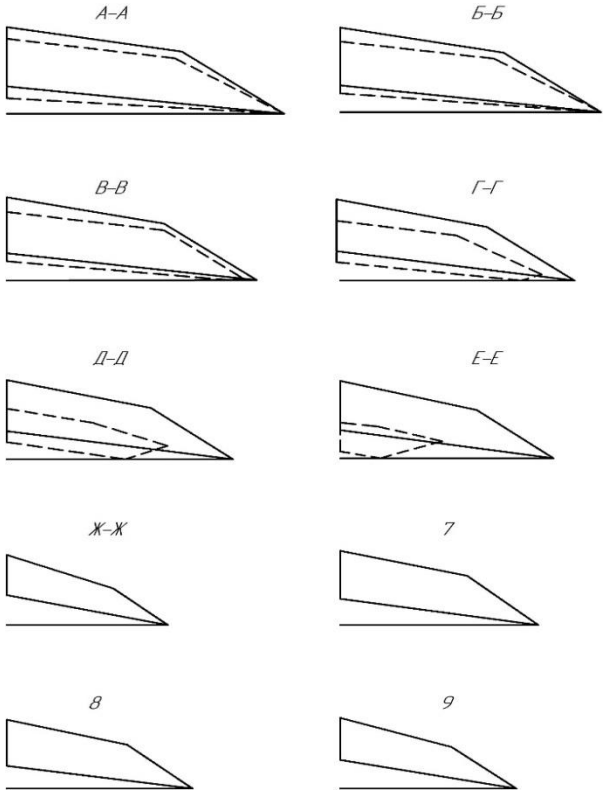

Рисунок 4 – Характер износа лезвия по поперечным сечениям (на рисунке 1):(Сплошная линия – новый нож, пунктирная – изношенный); 7, 8 и 9 – поперечные сечения подрезающего лезвия нового ножа за пределами изношенного лезвия (между сечениями *Е-Е* и *Ж-Ж* на рисунке 1)

Для того, чтобы получить количественные параметры процесса в программе «Компас 3D» на основании данных, приведенных в таблице 1, в масштабе 2:1 были выполнены все измеренные поперечные сечения (рисунок 4). На рисунке сечения подрезающего лезвия нового ножа изображены сплошными линиями, а сечения изношенного – пунктирными. При этом два контура в одном сечении выравнивались (базировались) по тыльной (задней) кромке, а носок лезвия или нижняя точка изношенного профиля совмещались с базовой горизонтальной поверхностью.

После этого (также в программе «Компас 3D») были проведены измерения площади каждого сечения. Результаты измерений приведены в таблице 2.

В каждом сечении была определена степень износа (потери площади сечения в процентах) по следующей формуле

$$\Delta S = 100(S_н - S_{изн}) / S_н ,$$

где$S_н$ – площадь соответствующего сечения лезвия нового ножа, мм^2; $S_{изн}$ – площадь соответствующего сечения лезвия изношенного ножа, мм^2.

Таблица 2-Степень износа подрезающего лезвия в разных сечениях (по мере удаления от стойки ножа), %

Сечение	Расстояние от стойки, *l*, мм	Площадь сечения, мм^2		Разница ΔS, мм^2	Степень износа $\Delta S_{отн}$, %
		Нового, $S_н$	Изношенного, $S_{изн}$		
А - А	0	1189	1137	52	4,4
Б - Б	10	1077	958	119	11,1
В - В	20	984	884	100	10,2
Г - Г	30	864	644	220	25,5
Д - Д	40	800	414	386	48,3
Е - Е	50	714	208	506	70,9

Данные по степени износа подрезающего лезвия в разных сечениях были обработаны на ПК в программе Excel. В результате получена зависимость степени износа поперечного сечения от расстояния до стойки ножа. Характер зависимости полиномиальный (рисунок 5). С высокой степенью адекватности (R^2 = 0,9882) она аппроксимируется следующим уравнением

$$Y = 0{,}0312x^2 + 0{,}2462x + 5{,}9899,$$

где $Y = \Delta S_{отн}$ – степень износа соответствующего поперечного сечения в процентах к его исходной площади; $x = l$ – расстояние от стойки ножа, мм.

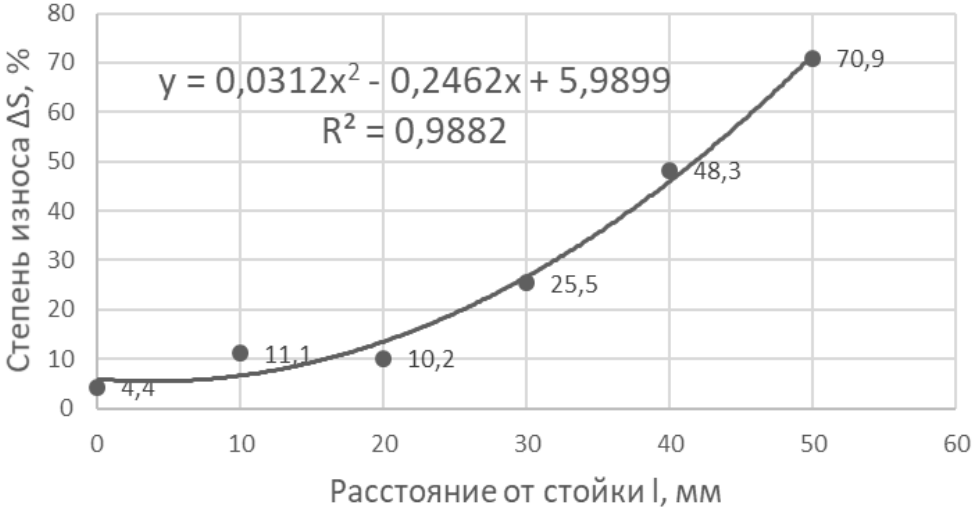

Рисунок 5 – Изменение степени износа подрезающего лезвия ножа по мере удаления от стойки

Характер и степень износа подрезающего лезвия изменяется не только по сечениям, но и по отдельным параметрам в рамках одного сечения. В связи с этим целесообразно рассмотреть степень изменения линейных параметров каждого сечения. Важнейшими являются его ширина (b) и толщина (t) тыльной кромки лезвия (рисунок 3). Используя результаты замеров, приведенные в таблице 1, оценим степень потери величины указанных линейных измерений и сопоставим их со степенью износа соответствующих сечений по площади (таблица 3).

Данные, приведенные в таблице 3, свидетельствуют о том, что характер абразивного износа меняется по длине подрезающего лезвия. Действительно, для первых трех сечений (*А – А … В – В*) характерен износ преимущественно в виде уменьшения толщины t лезвия. При этом его ширина b остается практически неизменной.

Объяснить это явление можно следующим образом. В первых трех сечениях преобладает трение по поверхности лезвия разрыхленного материала, который, к тому же, уже получил вертикальный импульс со стороны более близких к почвенному монолиту слоев, принудительно поднимаемых внешним концом рабочего органа. В результате сведено к минимуму вертикальное давление пласта на поверхность лезвия, а его режущая кромка практически не встречает иных сопротивлений кроме корневой системы сорняков, что уменьшает абразивное воздействие на нее. Кроме того, угол установки режущей кромки по отношению к вектору скорости в абсолютном движении меньше угла трения, что не позволяет почве скользить вдоль нее исключая таким образом увеличение степени абразивного воздействия и износа.

Таблица 3 – Изменение линейных параметров сечений подрезающего лезвия, %

Сечение	Площадь $\Delta S_{отн}$	Ширина Δb	Толщина Δt
А – А	4,4	0	0
Б – Б	11,1	0,5	10,5
В – В	10,2	6,3	10,6
Г – Г	25,5	13,8	8,9
Д – Д	48,3	29,0	31,0
Е - Е	70,9	52,2	45,2

В трех последующих сечениях (*Г – Г … Е – Е*) характер износа резко меняется. Во-первых, эта зона подрезающего лезвия большую часть траектории своего движения взаимодействует с почвенным монолитом, который оказывает более высокое вертикальное давление (примерно – в три раза), что существенно ускоряет абразивный износ. Кроме того, на наружном конце подрезающего лезвия, как в наиболее нагруженной зоне, начинается процесс износа режущей кромки и уменьшения таким образом ширины лезвия. При этом увеличивается угол между вектором скорости в абсолютном движении и режущей кромкой и начинается процесс скольжения почвы не только в поперечном, но и в продольном по отношению к лезвию направлении. В результате интенсивность износа также увеличивается.

В этой же зоне развивается и третий элемент процесса абразивного износа ножа. Режущая кромка затупляется, вследствие чего появляется нижняя площадка затупления*АВ* (рисунок 3) с передним (отрицательным) углом $\beta_п$. При движении ножа она вдавливается в почву сверху и сминает ее верхний слой, что генерирует большую силу вертикальной реакции почвы и способствует ускоренному износу лезвия путем увеличения ширины *АВ* площадки затупления (сечения *Г – Г, Д – Д* и *Е – Е* на рисунке 4). Таким образом, в зоне наружного конца подрезающего лезвия одновременно действуют три разнонаправленных абразивных процесса, что существенно увеличиваетинтенсивность износа.

Как было отмечено выше, предельно изношенный нож потерял 7% исходной массы. Однако распределение потерь крайне неравномерное. Стойка практически не изнашивается, а максимум потери металла приходится на наружный конец подрезающего лезвия. В связи с этим, целесообразно установить степень износа лезвия целиком, а не по его отдельным сечениям. Дело в том, что оно укоротилось на 35 мм, в связи с чем в ближайших к его наружному концу сечениях была потеряна вся масса исходного металла. Следовательно, для оценки степени износа всего лезвия целесообразно сопоставить его суммарный объем для нового и для изношенного ножа.

Для этого необходимо выполнить обмер лезвия не только по сечениям, обозначенным на рисунке 1, а включить дополнительно три сечения между сечениями *Е – Е* и *Ж – Ж*, с расстояниями между ними также величиной по 10 мм. Таким образом, в обмере должны участвовать десять поперечных сечений (включая сечения 7, 8 и 9 на рисунке 4).

Объем лезвия может быть найден по следующей формуле

$$V_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{10} (S_i^{cp} \cdot \Delta l),$$

где V_{Σ} – объем подрезающего лезвия, мм^3; S_i^{cp} - площадь поперечного сечения, расположенного по середине между двумя соседними сечениями, обозначенными на рис. 20 (в таблице 4): то есть S_1^{cp}= 0,5*($S_{А-А}$+$S_{Б-Б}$); Δl = 10 мм.

Расчет выполнен в форме таблицы 4. Он свидетельствует о том, что в результате пяти лет эксплуатации ножа его подрезающее лезвие потеряло вследствие износа 48,6% металла.

Таблица 4 – Определение суммарной степени износа подрезающего лезвия L-образного ножа, %

Сечение	Площадь $\Delta S_{отн}$	Ширина Δb	Толщина Δt
А – А	4,4	0	0
Б – Б	11,1	0,5	10,5
В – В	10,2	6,3	10,6
Г – Г	25,5	13,8	8,9
Д – Д	48,3	29,0	31,0
Е - Е	70,9	52,2	45,2

Таким образом, именно подрезающее лезвие L-образного наружу отогнутого ножа является самой изнашиваемой частью фрезы, в связи с чем приоритет в дальнейшей модернизации машины должен быть отдан увеличению его износостойкости. Это обусловлено тем, что путем подбора материала и размерных параметров удалось добиться практически стопроцентной надежности стойки ножа и переходного участка от стойки к лезвию, в пределах которого на первых этапах эксплуатации фрезы происходило обламывание лезвия при встрече с препятствиями. В настоящее время такой эксцесс ограничивается срезанием крепежных болтов, которые выполняют функцию наиболее приемлемого предохранительного устройства.

Одним из последствий износа подрезающего лезвия *L*-образного наружу отогнутого ножа является возникновение нижней площадки затупления *АВ* с отрицательным передним углом $\beta_п$ (рисунок 3). Соотношение толщины лезвия в рассматриваемом сечении и величины угла $\beta_п$ свидетельствует о том, что правомерной является гипотеза о том, что именно по площадке *АВ* происходит основной ускоренный износ подрезающего лезвия. Так, в сечении *Е - Е* толщина лезвия уменьшилась на 45,2 %, а ширина на 52,2% (таблица 4).

Этому явлению есть вполне логичное объяснение. Сверху на подрезающее лезвие осуществляет давление пласт почвы толщиной (в среднем) 50 … 70 мм, который под действием вертикального импульса скалывается под углом (90^0-θ/2) к горизонтальной поверхности, (по аналогии с культиваторной лапой угол θ/2 варьируется в пределах 20 … 25^0) [6]. Величина сопротивления почвенного слоя скалыванию определяется площадью поверхности скола и предельными касательными напряжениями [$\tau_{ск}$] = 10 … 12 кПа [7].

Параллельно с указанным процессам происходит смятие площадкой затупления *АВ* слоя почвы толщиной, равной высоте $h_п$ и шириной b_1 (рисунок 3). При этом следует иметь ввиду то, что сопротивляемость почвы смятию многократно превосходит ее сопротивляемость сколу, поскольку [$\sigma_{см}$] = 65 … 108 кПа [7]. То есть, усилие, затрачиваемое на смятие единицы объема почвы, в 8 … 10 раз превосходит усилие, затрачиваемое на скол такого же ее объема. Поскольку

интенсивность износа пропорциональна давлению на соответствующую площадку износа, то в определенный момент основным становится износ по нижней площадке затупления *AB*.

Положение усугубляется анизотропностью среды. Над подрезающим лезвием располагается менее плотный поверхностный слой почвы, подвергающийся периодическому рыхлению ножами фрезы. Нижняя площадка затупления взаимодействует с более плотным нижним слоем почвы, обладающим повышенной прочностью. Следовательно, разница в допустимых (разрушающих) напряжениях скола верхнего слоя и смятия нижнего может увеличиться до 20-ти кратной величины.

Развитие нижней площадки затупления вызывает существенное увеличение сил сопротивления перемещению в почве подрезающего лезвия ножа. Для выявления механизма деформации почвы площадкой *AB* предварительно определим величину угла $\beta_п$ (рисунок 6).

$$\beta_п = \text{arctg}\,(h_п/b_1) = \text{arctg}\,(0{,}3548) = 19{,}5^0.$$

Поскольку угол наклона нижней площадки затупления меньше, чем угол трения почвы по стали (μ_2 = 0,4 … 0,7 [8]), то процесс уплотнения почвы должен происходить следующим образом. Начиная от точки *B*, частицы почвы должны влавливаться в ниже лежащие слои в направлении, противоположном вектору нормальной силы *N*, одновременно проскальзывая вдоль поверхности в сторону ее задней кромки (точки *A*).

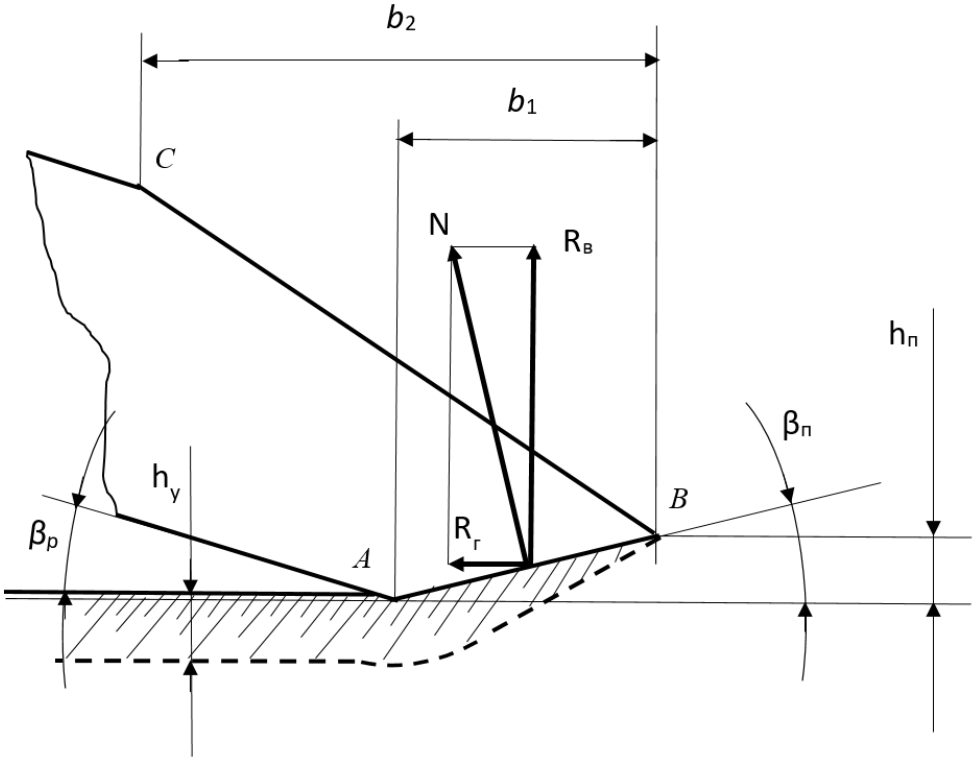

Рисунок 6 – Взаимодействие с почвой нижней площадки затупления подрезающего лезвия

Степень деформации увеличивается, в результате чего формируется уплотненный слой толщиной $h_у$, типа «плужной подошвы». При этом максимальная плотность почвы характерна для верхнего слоя «плужной подошвы», которая, по мере углубления, переходит в почву естественной плотности. Имеет место и частичное упругое восстановление объема почвы (ее незначительное расширение) после точки *A*.

Если рассматривать процесс деформации почвы более подробно, то очевидно, что на площадку затупления действует распределенная нагрузка, величина которой возрастает от точки *B* к точке *A*. Будем считать, что суммарная величина вертикальной силы реакции $R_в$ может быть

определена как произведение площади горизонтальной проекции площадки затупления на допустимое напряжение смятия. При этом считаем, что проекция площадки имеет треугольную форму, а ее максимальная ширина приходится на наружный конец подрезающего лезвия. Тогда

$$R_{вн} = 0{,}5\ b_{1max} l\ [\sigma_{см}] = 0{,}5 * 9*10^{-3}*65*10^{-3}*100*10^{3} = 29{,}25 \text{ Н}.$$

Аналогичным образом можно определить и вертикальную нагрузку на подрезающее лезвие ножа со стороны верхнего слоя, вследствие его разрушения. Будем считать, что она равна произведению площади площадки наклонного скола. То есть

$$R_{вв} = h_{ср} * l * [\sigma_{см}] = 70*10^{-3}*65*10^{-3}*10*10^{3} = 45{,}5 \text{ Н}.$$

Таким образом, если принять, что почва над поверхностью лезвия и под ним имеет сопоставимые параметры, то вертикальное усилие от площадки затупления составляет 64% от вертикального усилия, действующего со стороны почвенного слоя на рабочую (верхнюю) поверхность подрезающего лезвия. Если же принять, что нижний слой почвы примерно в два раза более плотный, чем верхний, то усилия сверху и снизу практически выравниваются. Соответственно, примерно равными будут и силы трения. При этом на рабочей поверхности лезвия они рассредоточены по всей его площади, а на нижней площадке затупления сосредоточены на узкой полосе. Кроме того, примерно в два раза увеличивается и горизонтальная составляющая сил сопротивления.

Степень влияния на энергоемкость процесса нижней площадки затупления подтверждается и аналогией с землеройными машинами. При средней ширине площадки затупления 5 мм и длине лезвия, равной 65 мм на грунтах второй – третьей категории возникает дополнительное усилие равное 13 … 30 Н [8]. Дополнительное тяговое усилие от площадки затупленияподрезающего лезвия *L*-образного ножа может быть определено следующим образом (рисунок 6)

$$F_{зат} = R_г + F_{тр} = R_в \cdot tg\beta_п + R_в \cdot \mu_2 = R_в \cdot \left(tg\beta_п + \mu_2\right),$$

где μ_2 = 0,55 – коэффициент трения чернозема по стали [8]; $R_г$- горизонтальная составляющая реакции почвы на нижнюю площадку затупления; $R_в$ – вертикальная составляющая реакции почвы на нижнюю площадку затупления; $F_{тр}$ – сила трения, действующая на площадке затупления; $\beta_п$ = $19{,}5^0$ – угол наклона нижней площадки затупления к горизонту.

Подставив в последнее уравнение значения параметров, имеем $F_{зат}$ = 26,6 Н. То есть, результаты, полученные в двух вариантах расчета, сопоставимы.

Заключение. Анализ результатов исследования свидетельствует о том, что целесообразно модернизировать конструкцию L-образного наружу отогнутого ножа с целью исключения возможности возникновения на его подрезающем лезвии нижней площадки затупления. Указанная цель может быть достигнута, если на нижнюю поверхность подрезающего лезвия ножа нанести (начиная непосредственно от режущей кромки) слой износостойкого материала. В этом случае изнашивание будет происходить преимущественно по верхней поверхности подрезающего лезвия, вследствие чего оно будет постоянно самозатачиваться, исключая возникновение нижней площадки затупления значимой величины, что обеспечивает минимум сопротивления перемещению ножа в почве на протяжение всего срока его службы. Поскольку интенсивность износа уменьшается по мере приближения к стойке, то целесообразно ширину износостойкого слоя выполнить переменной, с ее уменьшением в указанном направлении. Кроме того, наружный конец подрезающего лезвия целесообразно подвергнуть локальному термическому упрочнению.

Список литературы

1. Михальченков А.М., Шустов А.Ф. Особенности изнашивания и ресурс восстановленных импортных составных лемехов при пахоте на супесчаных почвах // Техника и оборудование для села. – 2017. – № 11. – С. 37-40.

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

3. Ожерельева М.В. Совершенствование технологии возделывания малины в условиях средней полосы России: дис. … канд. с.-х. наук: 06.01.07 – Брянск, 2001. 148с.

4. Ожерельев В.Н. Технологические процессы и средства механизации производства ягод малины: дис. … докт. с.-х. наук: 05.20.01. – Брянск, 2001. 312с.

5. Ожерельев В.Н., Ожерельева М.В. Опыт разработки и практического использования фрезерного культиватора для плантации малины // Вестник НГИЭИ. – 2018. – № 11 (90). – С. 112 – 123.

6. Лурье А.Б., Громбчевский А.А. Расчет и конструирование сельскохозяйственных машин. Л.: «Машиностроение», 1977. 528с.

7. Технологические свойства почвы [Электронный ресурс] Код доступа https://vuzlit.ru/995467/tehnologicheskie_svoystva_pochvy

8. Машины для земляных работ. Конструкция. Расчет. Потребительские свойства: в 2 кн. Кн.2. Погрузочно-разгрузочные и уплотняющие машины: учебное пособие для вузов / Баловнев В.И., Глаголев С.Н., Данилов Р.Г. и др.; под общ. ред. В.И. Баловнева. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. 464с.

References

1. Mihal'chenkov A.M., SHustov A.F. Osobennosti iznashivaniya i resurs vosstanovlennyh importnyh sostavnyh lemekhov pri pahote na supeschanyh pochvah // Tekhnika i oborudovanie dlya sela. – 2017. – № 11. – S. 37-40.

2. Mihal'chenkov A.M., Popov A.P. Izmenenie geometricheskih parametrov lemekhov posle ih ekspluatacii na supeschanyh pochvah // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. – 2003. – № 8. – S. 26-28.

3. Ozherel'eva M.V. Sovershenstvovanie tekhnologii vozdelyvaniya maliny v usloviyah srednej polosy Rossii: dis. … kand. s.-h. nauk: 06.01.07 – Bryansk, 2001. 148s.

4. Ozherel'ev V.N. Tekhnologicheskie processy i sredstva mekhanizacii proizvodstva yagod maliny: dis. … dokt. s.-h. nauk: 05.20.01. – Bryansk, 2001. 312s.

5. Ozherel'ev V.N., Ozherel'eva M.V. Opyt razrabotki i prakticheskogo ispol'zovaniya frezernogo kul'tivatora dlya plantacii maliny // Vestnik NGIEI. – 2018. – № 11 (90). – S. 112 – 123.

6. Lur'e A.B., Grombchevskij A.A. Raschet i konstruirovanie sel'skohozyajstvennyh mashin. L.: «Mashinostroenie», 1977. 528s.

7. Tekhnologicheskie svojstva pochvy [Elektronnyj resurs] Kod dostupa https://vuzlit.ru/995467/tehnologicheskie_svoystva_pochvy

8. Mashiny dlya zemlyanyh rabot. Konstrukciya. Raschet. Potrebitel'skie svojstva: v 2 kn. Kn.2. Pogruzochno-razgruzochnye i uplotnyayushchie mashiny: uchebnoe posobie dlya vuzov / Balovnev V.I., Glagolev S.N., Danilov R.G. i dr.; pod obshch. red. V.I. Balovneva. – Belgorod: Izd-vo BGTU, 2011. 464s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Ожерельев Виктор Николаевич – доктор сельскохозяйственных наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Брянский государственный аграрный университет», Россия, г. Кокино, e-mail: vicoz@bk.ru.

Ожерельева Марина Викторовна – доктор экономических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Брянский государственный технический университет», Россия, г. Брянск, e-mail: marinavo@inbox.ru.

Author credentials

Affiliations

Ozherelev Viktor – Full Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Bryansk State Agrarian University”, Russia, Kokino, e-mail: vicoz@bk.ru.

Ozhereleva Marina – Full Doctor of Economics, Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Bryansk State Technical University”, Russia, Bryansk, e-mail: marinavo@inbox.ru.

Поступила в редакцию (Received): 22.07.2019 Принята к публикации (Accepted): 23.08.2019