

Date: 9th June-2026

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛЕМЕХА ПЛУГА

K K Nuriev¹, M K Nuriev¹, Kemal Çelik²

Gulistan State University, Republic of Uzbekistan, 4th microdistrict, Gulistan,

Syrdarya region, 120100, Republic of Uzbekistan¹

Balıkesir Üniversitesi, Altıeylül/Balıkesir, Turkey²

E-mail: karimnuriev0@gmail.com

Аннотация. В статье анализируется «жизненный» цикл лемеха плуга и показывается эффективное решение повышения ресурса. Анализом комплексных факторов влияющих на износ лемеха делается ударение на их основные. Оценивается рабочее состояние лемеха и раскрывается сущность влияющих сил на его износ. Выводится математическая модель определения ресурса лемеха. Решив модель на примере лемеха плуга при разных значениях их составляющих определяется, что ресурс лемеха при повышении ширины и угла затылочной фаски уменьшается и при этом с увеличением ширины особенно в твердых почвах уменьшение ресурса наблюдается более интенсивными темпами. Устанавливается, что увеличение ширины задней фаски на 1 мм и угла на 1° сокращается ресурс лемеха соответственно на 33 % и 12 %, а увеличением глубины вспашки на 1 см уменьшается ресурс лемеха на 16 %. Доказывается, что причиной всплывания плуга вследствие повышения реакции почвы является увеличение параметров задней фаски. Рекомендуются способ снижения величины реакции почвы.

1. Введение

Как очевидно, работу плуга оценивает его лемех. Так как при износе лемеха и не обеспечении агротехнических показателей по глубине вспашки работа плуга останавливается. Когда лемех восстанавливается или заменяется новым, только тогда разрешается продолжать работу плуга. Следовательно, при нерабочем состоянии лемеха плуг также считается не работоспособным. Отсюда можно заключить, что эксплуатационно - технологические показатели плуга определяются лемехом, считающимися его рабочим органом.

2. Состояние изучаемого вопроса

Чтобы плуг стабильно выполнял агротехническое требование (АТТ) на вспашку его лемех должен быть постоянно острым – самозатачивающимся. *(Острым считается лемех тогда, когда толщина кромки его лезвия не превышает 1 мм, параметр фаски образуемый с тыльной стороны должен иметь минимально-допустимое значение для данных условий эксплуатации, угол заострения не должен превышать 1,5-2 раза начальных значений).*

Главным вопросом здесь является обеспечение сохранения наиболее длительное время остроты лезвия, т.е. максимальный ресурс лемеха, так как,



производительность пахотного агрегата прямо пропорционально связано с ресурсом лемеха.

Следовательно, обеспечение его высокого ресурса считается весьма важным.

3. Методы и результаты исследования

Для разработки способа повышения ресурса лемеха используемого в производстве рассмотрим период его “жизненного” цикла

Как известно, работа плуга может останавливаться в основном по трем критериям:

- технический (приход параметров лемеха до предельных значений);
- технологический (не выполнение лемехом плуга АТТ);
- экономический (резкое повышение затрат при использовании плуга).

Из этих трех критериев оценивающих качества работу лемеха с агро-технологической точки зрения (по качеству работы) выбираем второй. У этого критерия основным показателем является обеспечение глубины вспашки.

Если по этому показателю изучив работу серийного лемеха определим его ресурс, взяв изменение глубины вспашки по АТТ равное $\sigma = \pm 2$ см и учитывая результаты многолетних исследований ученых и выразив изменение ресурса серийного и предлагаемого лемехов криволинейным графиком можно их совместно изучить и оценить (рисунок 1).

Как известно, всегда в начальный период времени у обеих вариантов лемехов T_1 и T_1^1 происходит приработка рабочих поверхностей в которых происходит интенсивный износ. Затем наступает второй период где процесс износа серийного лемеха замедляется и начинается нормальная работа с стабильной интенсивностью изнашивания в течение времени T_2 , пока толщина режущей кромки не превысит предельно допустимого значения α_{np} . Период T_3 характеризует работу с затупленным лезвием.

Таким образом, период времени T_2 можно рассматривать как основной этап жизненного цикла плужного лемеха, после завершения которого необходимо его заменить.

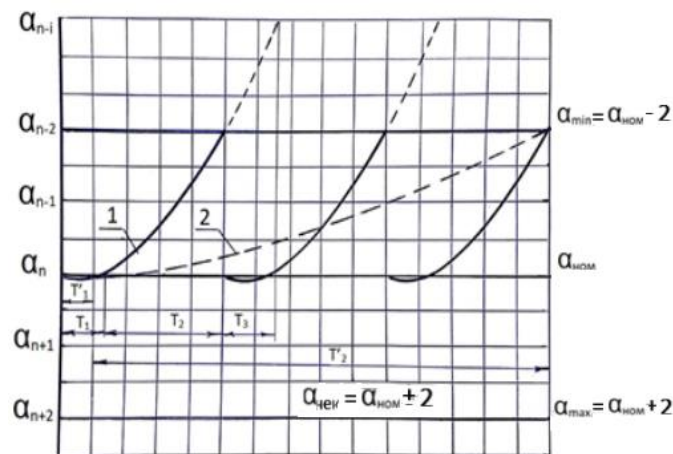


Рисунок 1. Жизненные циклы серийного и предлагаемого плужного лемеха

Date: 9th June-2026

Считая для лезвий серийного плужного лемеха скорость изнашивания стабильной, его ресурс можно определить следующей зависимостью:

$$T_n = T_1 + T_2 + T_3 \quad (1)$$

где, T_1 - период приработки серийного лемеха; T_2 - период стабильной работы серийного лемеха; T_3 - период работы с изношенным лезвием серийного лемеха. Анализируя жизненный цикл серийного лемеха можно отметить, что из составляющих определяющим периодом является второй период T_2 . Поэтому можно считать, что увеличение срока службы серийного лемеха возможно за счет удлинения этого периода и при этом третий период T_3 можно исключить из жизненного цикла.

Тогда ресурс предлагаемого плужного лемеха можно определить по следующей зависимости:

$$T_n^l = T_1^l + T_2^l \quad (2)$$

где T_1^l - период приработки предлагаемого лемеха; T_2^l - период стабильной работы предлагаемого лемеха.

Наилучшим способом повышения эффективности работы предлагаемого лемеха можно считать увеличение только нормального периода эксплуатации до срока службы трех серийных лемехов. Сказанное можно выразить кривой 2 на рисунке 1. Как выше отметили, срок службы серийного лемеха устанавливается средней скоростью изнашивания лезвия лемеха. В связи с этим для осуществления рекомендуемого способа повышения эффективности работы предлагаемого лемеха необходимо обеспечить в 3 раза меньшую интенсивность изнашивания лезвия лемеха, чем у серийного лемеха или увеличить запас ресурса (резервную - конструктивную износостойкость) в столько же раз. Изучив и анализируя проведенные исследования многих ученых [1-10] можно определить затупляемость лезвия лемеха сложив четыре обобщенные факторы:

$$I = f(A1 + A2 + A3 + A4 + A5) \quad (3)$$

И так интенсивность изнашивания определяется физико-механическими свойствами почвы ($A1$), физико-механическими свойствами материала и твердого (режущего) слоя ($A2$) и условиями нагружения ($A3$) а также конструктивными ($A4$) и технологическими ($A5$) параметрами рабочего органа.

Все выше перечисленные факторы можно оценить в количественной форме с помощью нескольких показателей. Если представить зависимости интенсивности изнашивания от определенных составляющих в форме функций, то получим:

$$\begin{aligned} I &= f(A1) = f(H_b, w_b, c_t); I = f(A2) = f(H_o, H_s); I = f(A3) = f(P, R) \\ I &= f(A4) = f(B, h, L, h_0, \alpha, \beta); I = f(A5) = f(v, E, k_t, \sigma_p, a) \text{ или} \\ I &= f(H_b, w_b, c_t, H_o, H_s, P, R, B, h, L, h_0, \alpha, \beta, v, E, k_t, \sigma_p, a) \end{aligned} \quad (4)$$

где B, h, L - ширина, толщина и длина лемеха, м; h_0 - толщина кромки лезвия, м; α - угол заточки лезвия лемеха; β - угол установки лемеха ко дну борозды; v - скорость движения лемеха, м/с; E - модуль упругости, МПа; k_t - коэффициент трения почвы о лезвие; σ_p - разрушающее контактное напряжение на кромке лезвия лемеха;

Date: 9th June-2026

a - глубина вспашки, м; H_t - твердость почвы; w_b - влажность почвы; c_t - состав почвы; H_o - твердость основного материала лезвия лемеха, HRC; H_s - твердость наплавленного материала лезвия лемеха HRC; P, R - соответственно, давление на лезвие лемеха с тыльной и лицевой стороны, кг/м².

На основании многочисленных исследований установлено, что общее количество факторов, оказывающих влияние на интенсивность изнашивания лемеха, около двадцати (рисунок 2). Если рассмотреть детально, то можно отметить, что при износе лемеха не все факторы оказывают решающее влияние на его затуплению. На основании данных исследований [1-5] и выше отмеченного можно сделать вывод о том, что применительно к плугам для основной обработки почвы основными параметрами, влияющими на интенсивность изнашивания рабочей поверхности лезвия и соответственно на ресурс лемеха, являются:

- свойства материала, из которого изготовлен плужный лемех (H);
- степень изменения скорости и давления почвы на лезвия лемеха (v, P);
- свойства почвы (c_t).

4. Обсуждение полученных результатов

Попытаемся связать ресурс с затупляемостью лемеха плуга, что связано с исследованием процесс изнашивания под действием сил сопротивления. Анализ изменения геометрических размеров лемехов показывает, что лезвие изнашивается под действием сил давления пласта почвы на клин Q и реакции дна борозды R (рисунок 3).

В результате между направлениями этих сил острый угол α постепенно трансформируется в тупой θ . По мере изменения геометрической формы лезвия лемеха и изменяется направление действия названных сил. При продолжительной эксплуатации под действием давления пласта Q увеличивается износ носовой части лезвия по оси OX , в связи с этим поверхность OK стремится к положению перпендикулярному абсциссе OX . Направление действия силы R также изменяется. После некоторой эксплуатации она стремится достичь положения перпендикулярного ординате OY . Под действием сил Q и R происходит износ и за время эксплуатации лезвие по сравнению с начальным изменяет свои геометрические размеры, что видно по перемещению носка из начала координат O в точку O_1 . При этом, силы реакции почвы, действующие на лицевую и тыльную части лезвия, увеличиваются, нарастает интенсивность износа I в обоих направлениях. Она определяется по формуле [8].

$$I = I_P + I_R, \quad (5)$$

где I_Q, I_R – интенсивность изнашивания соответственно лицевой и тыльной поверхности лезвия.

Интенсивность изнашивания лезвия лемеха при неизменном механическом составе и влажности почвы, а также неизменных свойствах материала рабочего органа зависит главным образом от давления почвы и выражается формулами



Date: 9th June-2026

$$I_P = K_n \cdot P \quad \text{и} \quad I_R = K_n \cdot R, \quad (6)$$

где K_n – коэффициент пропорциональности, зависящий от физико-механических свойств, состояния почв и геометрических размеров лезвий лемехов, $\frac{MM}{\text{га} \cdot H}$.

Согласно формулам (5) и (6) можно написать $I = K_n(P + R)$

(7)

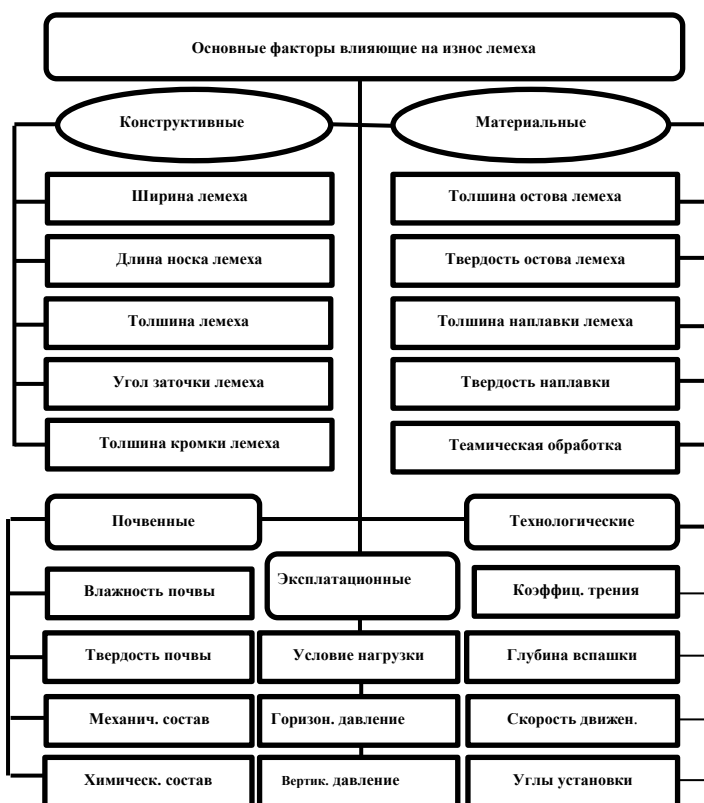


Рисунок 2. Факторы влияющие лезвия на ресурс лемеха.

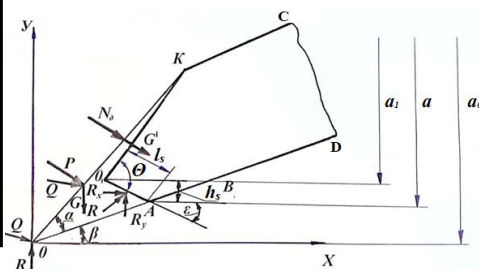


Рисунок 3 Изменение параметров лемеха при износе под действием сил Q и R.

Следовательно, интенсивность износа лезвия зависит в основном от величины сил P и R . Теперь постараемся определить их величины через физико-механические свойства почвы и конструктивные размеры лезвия.

Составляющее силы Q действующее на лицевую поверхность лемеха, состоит из сил нормального давления P и веса почвы G . Нормальное давление почвы P , действующее на лицевую поверхность лемеха, можно определить по величине веса частиц почвы G и динамического давления на поверхности лезвия лемеха N_0 , т.е.

$$P = N_0 + G' \quad (8)$$

Используя теорему об изменении количества движения и результатов исследования Севернева М.М. [8] и Синеокова Г.Н. [9] определим силу

Date: 9th June-2026

динамического давления на направление нормали к поверхности O_1K

$$N_o = a \cdot b \cdot \delta \cdot V_n^2 \cdot \sin(\alpha + \beta) \cdot \sin \gamma, \quad (9)$$

где a и b – толщина и ширина пласта почвы; δ – плотность почвы; V_n – поступательная скорость рабочего органа; β и γ – углы установки рабочего органа относительно дна и стенки борозды; α – угол заточки лезвия.

Величину вектора проекции силы G на направление нормали к поверхности лезвия можно определить как

$$G' = a \cdot b \cdot L_n \cdot g \cdot \delta \cdot \cos(\alpha + \beta), \quad (10)$$

где L_n – длина лезвия рабочего органа; g – ускорение силы тяжести.

Тогда подставив выражения (9) и (10) в (8) получим

$$P = a \cdot b \cdot \delta \cdot g \cdot \left[\frac{V_n^2}{g} \sin(\alpha + \beta) \cdot \sin \gamma + L_n \cdot \cos(\alpha + \beta) \right]. \quad (11)$$

Как видно из формулы (11) динамическое давление к поверхности лезвия прямо пропорционально параметрам пласта, плотности почвы и скорости движения агрегата. При наличии затылочной фаски реактивная сила R определяется по формуле [17]

$$R = b l_s \sin \varepsilon \left\{ K_1 H + \frac{\cos \varepsilon}{\sin \gamma} l_s g_0^1 [1 + K_g \mathcal{Q}_M (\cos \varepsilon - \sin \varepsilon \times \operatorname{tg} \varphi) \sin \varepsilon] \right\} \quad (12)$$

где H – средняя твердость почвы на глубине обработки, $Mna; F$ – площадь деформируемого слоя, cm^2 ; K_1 – переводной коэффициент, учитывающий влияние формы и размеры затылочной фаски; b – ширина захвата лемеха, h_s – высота затылочной фаски, l_s – ширина затылочной фаски, V_s – объем сминаемой почвы, g_0 – коэффициент объемного смятия почвы; g_0^1 – объемный коэффициент смятия, выбранное при статических испытаниях, т.е. при скорости деформации равное нулю; K_g – коэффициент, учитывающий изменение коэффициента объемного смятия почвы в зависимости от скорости смятия, c/m , $\mathcal{Q}_s$ – скорость смятия почвы затылочной фаской в вертикальном направлении m/c .

Согласно исследованиям [13] сможем записать

$$h_s = a \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho} \right) \quad (13)$$

где, a – глубина обработки почвы, m ; ρ_0 и ρ – плотность почвы до и после обработки, kg/m^3 . Учитывая выражение $h_s = l_s \times \sin \varepsilon$ получим

$$l_s = \frac{a(\rho_0 - \rho)}{\rho \sin \varepsilon} \quad (14)$$

или

$$R = b \frac{a(\rho_0 - \rho)}{\rho} \left\{ K_1 H + \frac{\cos \varepsilon}{\sin \gamma} \frac{a(\rho_0 - \rho)}{\rho \sin \varepsilon} g_0^1 [1 + K_g \mathcal{Q}_M (\cos \varepsilon - \sin \varepsilon \times \operatorname{tg} \varphi) \sin \varepsilon] \right\} \quad (15)$$

Date: 9th June-2026

Пользуясь формулой (15), можно проанализировать изменение реакции почвы на затылочную фаску в зависимости от ее основных параметров.

Как выше отметили устойчивость хода плуга по глубине нарушается при не соблюдении условия

$$P_y \geq R_y.$$

(16)

Подставляя значения P_y и R_y в формулу (16) и после некоторых преобразований получим математическую модель изменения глубины вспашки.

$$a = \frac{\delta \cdot g \cdot 2 \sin \gamma \left[\frac{V_n^2}{g} \sin(\alpha + \beta) \cdot \sin \gamma + L_n \cdot \cos(\alpha + \beta) \right]}{\left(1 - \frac{\rho_0}{\rho} \right) \left\{ K_1 H + \frac{\cos \varepsilon}{\sin \gamma} \frac{(\rho_0 - \rho)^2}{\rho \sin \varepsilon} g_0^1 [1 + K_g \mathcal{G}_M (\cos \varepsilon - \sin \varepsilon \times \operatorname{tg} \varphi) \sin \varepsilon] \right\}} \quad (17)$$

Если учесть, что устойчивость сохранения заданной глубины обработки определяемой пригодностью лемеха к дальнейшей эксплуатации, то из формулы (17) видно, что основным влияющим фактором на глубину обработки является физико-механические свойства почвы и геометрические параметры лезвия.

Ресурс лемеха по конструктивному фактору определяется по формуле [14]

$$T = (h_0 - h_n) \frac{dh}{dt}, \quad (18)$$

где h_0, h_n – начальная и предельная ширина износа детали; dh/dt – интенсивность изменения ширины лезвия.

Если использовать величину среднего темпа износа ресурс рабочего органа представляется так

$$T = \frac{h_0 - h_n}{I} = \frac{h_0}{I}.$$

(19)

После подстановки значения I из формулы (7) в формулу (13) получим

$$T = \frac{h_0}{K_n (P + R)}. \quad (20)$$

Если в формулу (20) вместо P и R подставить их значения из формул (11) и (12) с учетом значения h_0 [15]

$$T = [\ell_0 - K_0 \cdot \operatorname{ctg} \varphi] : K_n \cdot b \cdot \left\{ a \cdot \delta \cdot g \times \left[\frac{V_n^2}{g} \cdot \sin(\alpha + \beta) \cdot \sin \gamma + L_n \cdot \cos(\alpha + \beta) \right] + \frac{a(\rho_0 - \rho)}{\rho} \left\{ K_1 H + \frac{\cos \varepsilon}{\sin \gamma} \times \frac{a(\rho_0 - \rho)}{\rho \sin \varepsilon} g_0^1 [1 + K_g \mathcal{G}_M (\cos \varepsilon - \sin \varepsilon \times \operatorname{tg} \varphi) \sin \varepsilon] \right\} \right\}. \quad (21)$$

Из формулы (21) и рисунка 4 видно, что ресурс рабочего органа (при постоянных углах установки рабочего органа ко дну и стенкам борозды) прямо пропорционален величине предельно допустимого износа и обратно пропорционален плотности и твердости почвы, углу заточки лезвия, квадрату скорости движения агрегата и параметрам пласта и затылочной фаски.



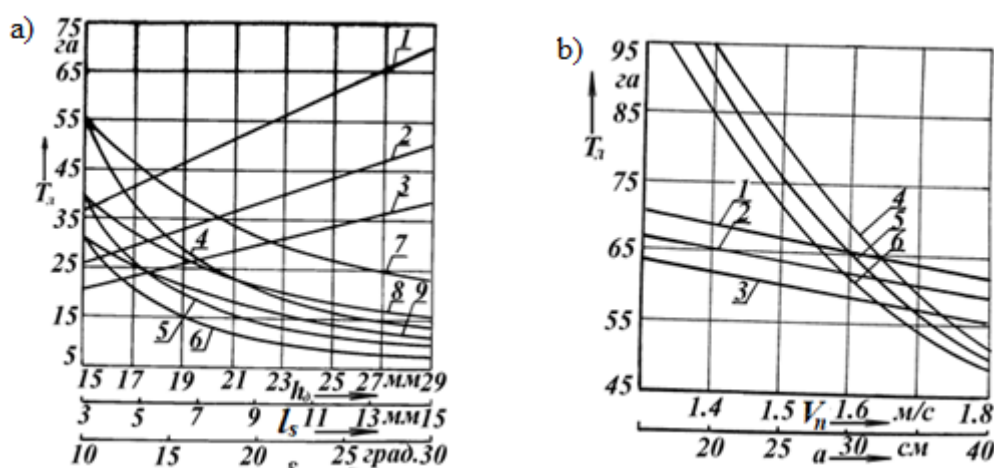


Рисунок 4. Графики изменения ресурса лемеха. а – от величины предельно допустимого износа (1, 2, 3,) ширины (4, 5, 6) и угла (7, 8, 9) затылочной фаски и при твердости почвы 3,5 МПа (1, 4, 7); 5,3 МПа (2, 5, 8) и 7,1 МПа (3, 6, 9); б – от скорости движения агрегата (1, 2, 3) и глубины обработки (4, 5, 6) при твердости почвы 3,5 МПа (1, 4); 5,3 МПа (2, 5) и 7,1 МПа (3, 6).

Как видно из рисунка 4 на ресурс лемеха основное влияние оказывает параметры затылочной фаски. Объем сминаемой почвы и соответственно выталкивающая сила R зависят от этих параметров. Однако, эти параметры изменяются в процессе работы (износа) произвольно и считаются не управляемыми. В связи с этим выдвинута научная гипотеза о возможности разработки таких технических решений по лемеху, которые способствовали уменьшению объема сминаемой почвы и соответственно выталкивающей силы, что в итоге улучшит самозатачиваемости лезвия и продлит срок службы лемеха [13,14].

5. Заключение

Основным критерием выбраковки лемехов является необеспечение ими при работе заданной глубины обработки (качество работы), отклонение от которой происходит, как правило, из-за произвольного увеличения параметров затылочной фаски лемеха в процессе работы. Ресурс лемеха при повышении ширины и угла затылочной фаски уменьшается и при этом с увеличением ширины особенно в твердых почвах уменьшение ресурса наблюдается более интенсивными темпами. Установлено, что увеличение ширины задней фаски на 1 мм и угла на 1° сокращает ресурс лемеха соответственно на 33 % и 12 %, а увеличение глубины вспашки на 1 см уменьшает ресурс лемеха на 16 %. Доказано, что причиной всплывания плуга вследствие повышения реакции почвы является увеличение параметров задней фаски и глубины вспашки. Для максимального уменьшения влияния параметров задней фаски на устойчивость плуга необходимо разработать такие технические решения по лемеху, которые способствовали в процессе работы уменьшению объема сминаемой почвы и соответственно выталкивающей силы, что в итоге улучшит самозатачиваемости лезвия и продлит срок использования лемеха.

Date: 9th June-2026

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Миронов Д.А. Обоснование конструктивно - материаловедческих параметров, обеспечивающих повышение ресурса и работоспособности лемешных рабочих органов. Дисс. на соискание ученой степени кандидата технических наук, Москва, 2017 г. –С. 13
2. Лискин, И.В. Обоснование и разработка нового плужного лемеха конструкции ВИМ / И.В. Лискин, Д.А. Миронов, С.А. Сидоров и др./ Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий: Сб. науч. докл. Междунар. науч.-техн. конф. – М.: ВИМ, 2014. –С. 101-104.
3. Сидоров, С.А. Обоснование повышения эксплуатационно-ресурсных характеристик лемехов плугов/Сельскохозяйственные машины и технологии. 2013. – № 6. – С.14-17.
4. Влияние конструкции лемеха и наплавочного армирования на твердость его носовой части / В.А. Денисов, Н.Ю. Кожухова, Г.В. Орехова, М.А. Михальченкова // Тракторы и сельхозмашины. 2016. -№ 7. -С. 36-40.
5. Тюрёва А.А., Козарез И.В., Дьяченко А.В. Твердость лемехов компании Vogel & Noot // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2016. - № 3 (55). -С.60-65.
6. Обоснование и разработка нового плужного лемеха конструкции ВИМ / И.В. Лискин, Д.А. Миронов, С.А. Сидоров, С.Н. Поткин, П.А. Ерёмин // Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий: сборник научных докладов Международной научно-технической конференции. 2014. -С. 101-104.
7. Влияние конструкции лемеха и наплавочного армирования на твердость его носовой части / В.А. Денисов, Н.Ю. Кожухова, Г.В. Орехова, М.А. Михальченкова // Тракторы и сельхозмашины. 2016. -№ 7. -С. 36-40.
8. Новиков А.А. Некоторые вопросы использования термообработанных рессорно-пружин-ных сталей из вторичного сырья для упрочняющего восстановления лемехов / Новиков А.А., Михальченкова М.А., Исаев Х.М. // Труды инженерно-технологического факультета Брянского государственного аграрного университета. - 2017.№1 (1). -С. 2135.
9. Коломейченко А.В. Испытания на изнашивание рабочих поверхностей лап культиваторов упрочненных газопламенным напылением порошкового материала / Коломейченко А.В., Зайцев С.А. // Труды ГОСНИТИ. – 2014. – Т.117. – 204-207.
10. Комогорцев В.Ф. Теоретико-аналитическое рассмотрение движения частиц легкой почвы по армированной поверхности / Комогорцев В.Ф., Тюрёва А.А. // Труды инженерно-технологического факультета Сборник научных трудов. Под ред. Михальченкова А.М.. – Брянск. - 2015. - С. 9-45.
11. Тюрёва А.А., Козарез И.В., Дьяченко А.В. Твердость лемехов компании Vogel & Noot // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2016. - № 3 (55). -С.60-65.



Date: 9th June-2026

12. Bayer R.G., Clinton W.C., Nelson C.W., Schumacher R.A. Note on the Application of the stress Dependency of wear. Wear, vol 7, 1964. -p 282...289.
13. Нуриев К.К., Нуриев М.К. и др. Патент UZ FAP 02154. Лемех плуга. Расмий ахборотно-ма, № 12-2(261) 30.12.2022.
14. K.K.Nuriev, M.K.Nuriev, O.Raxmatov, Sh. Qorabekova, M A Bakhronova. Determination of the total resistance of the ploughshare when the blade is blunted. ETESD-2022. IOP Publishing. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 1112 (2022) 012014. doi:10.1088/1755-1315/1112/1/012014. 16/12/2022 at 15:56.

