

# ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УПРОЧНЯЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ НА РЕЖУЩИХ ЛЕЗВИЯХ ГРУНТООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН

## DIFFERENTIAL DISTRIBUTION OF HARDENING MATERIALS ON CUTTING BLADES OF SOIL PROCESSING MACHINES

**В.И. МЯЛЕНКО**, д.т.н.

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Кемеровский государственный сельскохозяйственный  
институт», г. Кемерово, Россия, library@ksai.ru

**V.I. MYALENKO**, DSc in Engineering

Kemerovo State Agricultural Institute, Kemerovo, Russia,  
library@ksai.ru

Режущие лезвия рабочих органов грунтообрабатывающих машин вследствие их интенсивного абразивного износа во многом влияют на эксплуатационную надежность и производительность работающей техники. Для увеличения эксплуатационного ресурса лезвия упрочняют твердосплавными материалами, целесообразное расходование которых требует определения рациональных зон их нанесения на лезвия и обоснование их геометрических параметров. Предлагается метод определения геометрических размеров слоя упрочняющих материалов, предварительно наносимых на режущие лезвия грунтообрабатывающих машин. Алгоритмика метода заключается вначале в выявлении величин нормальных давлений, действующих со стороны обрабатываемых грунтов на лезвия, и построение соответствующих эпюр характера изменения нагрузок на поверхности лезвия. Характер распределения нагрузок на лезвия грунтообрабатывающих машин рационально определять путем специального нанесения легкоизнашиваемых материалов по поверхности трения. Быстрый износ этих материалов с различной интенсивностью на разных участках трения характеризует распределение реальных нагрузок, действующих на лезвия со стороны обрабатываемых грунтов. Затем после анализа эпюр с учетом характеристик обрабатываемых грунтов, а также свойств упрочняющих материалов, наносимых на лезвия, и ожидаемого ресурса лезвия определяются размеры наносимого слоя упрочняющих материалов. Геометрия распределения упрочняющих материалов и конкретные размеры их сечений выбираются по подобию значений кривых эпюр нормальных давлений, возникающих в условиях реальной эксплуатации. Таким образом, предлагаемое дифференцированное распределение упрочняющих материалов по поверхности лезвий грунтообрабатывающих машин позволяет производить рациональное расходование материалов в условиях абразивного износа рабочих органов и обеспечивает необходимую эксплуатационную долговечность.

**Ключевые слова:** эпюра нормального давления, интенсивность износа, упрочняющий материал.

The cutting blades of the working bodies of the soil-processing machines due to their intense abrasive wear largely influence the operational reliability and performance of the working machinery. To increase the service life of the blade the carbide materials are harden, the appropriate expenditure of which requires the definition of rational zones and geometric parameters of more or less of their application to the blade. A method is proposed for determining the geometrical dimensions of a layer of hardening materials of soil-processing machines previously applied to cutting blades. The algorithm of the method consists in first identifying the magnitudes of the normal pressures acting on the side of the treated soils on the blades and building the corresponding plots of the nature of the change in loads on the blade surface. The nature of the distribution of loads on the blades of soil-processing machines is rational to determine by special application of wearable materials over the friction surface. The rapid wear of these materials with different intensity in different areas of friction characterizes the distribution of real loads acting on the blades from the treated soils. Then, after analyzing the plots, taking into account the characteristics of the treated soils, the properties of the reinforcing materials applied to the blades and the expected blade life, the size of the applied layer of reinforcing materials is determined. Then, after analyzing the plots, taking into account the characteristics of the treated soils, the properties of the reinforcing materials applied to the blades and the expected blade life, the size of the applied layer of reinforcing materials is determined. The geometry of the distribution of reinforcing materials and the specific dimensions of their cross-sections are chosen in a way similar to the values of the curves for the epures of normal pressures arising under actual operating conditions. Thus, the proposed differentiated distribution of reinforcing materials over the surface of the blades of soil-processing machines allows for rational use of materials under conditions of abrasive wear of the working bodies and provides the necessary operational durability.

**Keywords:** plot of normal pressure, wear rate, reinforcing material.

## Введение

Эффективность использования грунтообрабатывающей техники во многом связана с ее эксплуатационной надежностью и, в частности, с состоянием режущих лезвий рабочих органов. Затупление лезвий грунтообрабатывающих машин снижает производительность и качество выполнения технологических операций, что приводит порой к техническим отказам. Лезвия отвалов грунтообрабатывающих машин, упрочненные твердосплавным материалом, также часто затупляются, что приводит к вынужденным остановкам машин для их переналадки. Высокая стоимость твердосплавных материалов и необходимость обеспечения эксплуатационной надежности машин ставят актуальную техническую задачу выбора рациональных конструктивных параметров нанесения твердосплавных материалов на режущие лезвия грунтообрабатывающей техники, обеспечивая тем самым достаточную долговечность.

## Цель исследования

Разнообразные по геометрическим формам и испытываемым нагрузкам рабочие органы грунтообрабатывающих машин предполагают в каждом конкретном случае индивидуальный подход к выбору параметров нанесения твердосплавного материала на их лезвия. Целью настоящей работы является поиск обобщенного алгоритма последовательных действий по определению конструктивных параметров нанесения упрочнений на лезвия.

## Материалы и методы

Механизм износа лезвий рабочих органов грунтообрабатывающих машин связан с наличием абразивных частиц непосредственно в грунтах, так же как и в естественном сложении почвы сельскохозяйственного назначения. Посредством абразивных частиц происходит истирание (вынос) металла с поверхности лезвий рабочих органов. На рис. 1 изображены представители рабочих органов грунтообрабатывающих машин: профиль отвала грейдера (рис. 1, а), рыхлящий зуб (рис. 1, б) и корпус плуга (рис. 1, в), которые все имеют подобную природу износа. При износе режущие лезвия теряют незначительный вес и быстро затупляются, требуя ремонта и восстановления [1]. При этом на выбракованных деталях в отдельных местах, как правило, остается твердо-

сплавный материал, что характеризует его не рациональное исходное нанесение. Рациональные технологии предварительного упрочнения являются довольно сложными инженерными процедурами в части расходования наплавленных материалов и выбора локальных мест их нанесения [2]. Всякие теоретические выявления локальных мест нагружения требуют своих экспериментальных подтверждений [3]. Здесь важно знать точные места или локальные участки большего или меньшего ожидаемого износа. Видимо, необходимо учитывать различные удельные давления, возникающие при работе на поверхности рабочего органа, и затем уже дифференцированно распределять наплавочный материал по поверхности лезвия рабочего органа.

В настоящей работе предложено решение технической задачи по выявлению характера изменения реальных нагрузок на режущие лезвия рабочих органов грунтообрабатывающих машин.

Логическая последовательность решения складывалась из следующих этапов. Вначале на режущее лезвие наносился тонкий слой материала низкой износостойкости. Здесь принималось во внимание классическое понятие силы трения (закон Кулона – Амонтона), где сила трения, определяющая износ, прямо пропорциональна нормальному давлению на деталь [4]. Затем измерялась толщина нанесенного слоя до и после изнашивания. Измерение толщины нанесенного слоя материала удобно производить магнитоиндукционным способом. Далее, после обработки результатов изменений, строились эпюры нормальных давлений

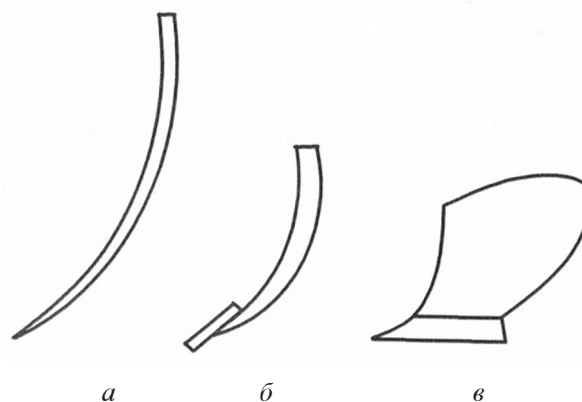


Рис. 1. Представители рабочих органов грунтообрабатывающих машин:  
а) профиль отвала грейдера; б) рыхлящий зуб;  
в) корпус плуга

грунта на лезвие рабочего органа и затем уже после разных преобразований определялись локальные места большего или меньшего нанесения упрочняющего материала.

### Результаты и обсуждения

Общая последовательность работ складывалась из двух этапов. Первый этап заключается в выявлении составляющих прогнозного ожидания ресурса изнашиваемой детали, второй – дифференцированное распределение упрочняющих материалов на режущих лезвиях грунтообрабатывающих машин.

Интенсивность абразивного износа рабочих органов, перемещающихся в грунтах, представляет известную зависимость от следующих аргументов [5].

$$\Delta G = f(N, \Delta V, m, H, t), \quad (1)$$

где  $\Delta V$  – единичный объем выносимого материала с поверхности детали при износе;  $m$  – показатель изнашивающей способности грунта;  $H$  – твердость материала изнашиваемой детали;  $t$  – время износа.

Непосредственно обрабатываемые грунты отвалами грейдеров, рыхлящими зубьями и лемехами разных плугов представляют собой чаще почвенные среды, начиная от суглинистых до песчаных, а также с включениями гравия или частиц горных пород в случаях выполнения рекультивационных работ. В зависимости от фракционного состава почвенные среды условно разделяют по своей изнашивающей способности на разные категории. По коэффициентам изнашивающей способности и наличию абразивных частиц различают категории:  $m_1 = 0,37-0,65$ ;  $m_2 = 0,5-1,3$ ;  $m_3 = 1,3-3,0$ , принятые в сравнении с эталонными значениями [5].

В свою очередь, режущие лезвия грунтообрабатывающих машин, изготавливаемые из литых сталей, – ножи отвалов грейдеров и рыхлящие зубья из сталей Л 25, а также лемехи из сталей Л 55 имеют определенную относительную износостойкость, условно принятую за единицу [4]. Последующие упрочнения изнашивающихся поверхностей деталей с использованием мартенситных или перлитных структур имеют свои условные единицы относительной износостойкости: от 1 до 7 и выше.

Предварительный прогноз ожидаемого ресурса детали, работающей в абразивной среде, можно определить по приведенной на рис. 2

номограмме. Исходя из формализованной номограммы по исходным составляющим – материал, условия эксплуатации и материал упрочнения – можно составить предварительный прогноз ожидаемого эксплуатационного ресурса детали, работающей в абразивной среде. Таким образом, на номограмме:  $L, T$  – конструктивные особенности детали,  $\Delta G$  – ожидаемый ресурс.

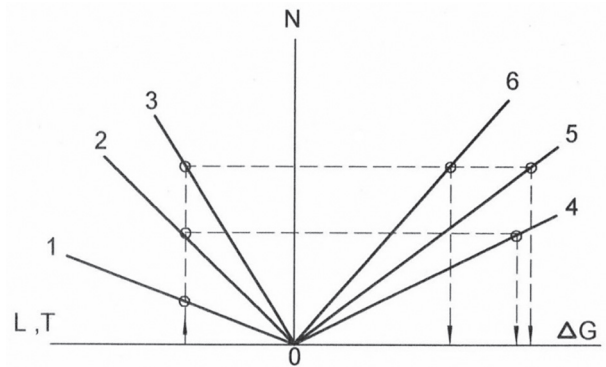


Рис. 2. Формализованная номограмма:

1, 2, 3 – категории почв по изнашивающей способности; 4, 5, 6 – категории упрочняющих материалов по относительной износостойкости

Для более точного решения поставленной задачи необходимо учитывать единичные давления, возникающие в разных точках поверхности исследуемой детали.

Испытаниям подвергались режущие лезвия – долота рыхлящего зуба (прямой клин). Использовался стенд для ускоренных имитационных испытаний деталей машин на абразивный износ, схема которого изображена на рис. 3. Стенд имеет барабан 1, в котором располагалась песчаная среда 2, а на вращающемся валу 3 с помощью стоек 4 закреплялось испы-

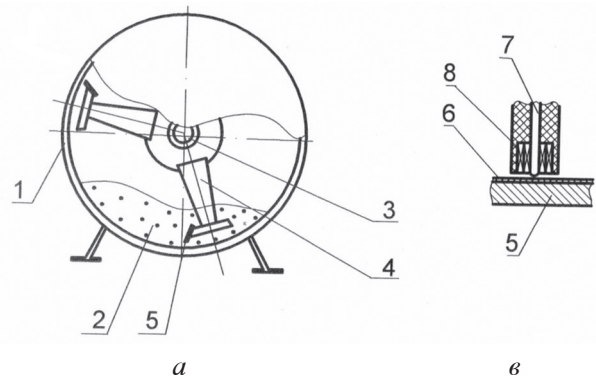


Рис. 3. Стенд для ускоренных имитационных испытаний деталей машин на абразивный износ:

1 – барабан; 2 – песчаная среда; 3 – вал; 4 – стойки; 5 – испытываемая деталь; 6 – легкоистираемый материал; 7 – сердечник; 8 – катушка

тываемое долото 5 рыхлящего зуба. На долото наносился тонкий слой легкоистираемого покрытия 6, толщина которого определялась магнитоиндукционным способом с помощью сердечника 7 с катушками 8. Испытания долот для сравнения проводились при разных углах их постановки к направлению движения рыхления.

Износ легкоистираемого слоя материала при испытаниях фиксировался по изменяемой его толщине в разных точках поверхности трения.

В результате обработки полученных данных были установлены следующие зависимости:

$$y(30^\circ) = -0,002x^3 + 0,05x^2 - 0,376x + 7,209R^2 + = 0,92; \quad (2)$$

$$y(45^\circ) = +0,023x^3 - 0,436x^2 + 1,284x + 23,444R^2 + = 0,95. \quad (3)$$

Вышеприведенные зависимости изображены графически на рис. 4 в качестве эпюр интенсивности износа (нормальных давлений) в зависимости от координаты отстояния от лезвия долота рыхлящего зуба в двух разных функциях углов наклона долота:  $y(30^\circ) = f(L)$  и  $y(45^\circ) = f(L)$ .

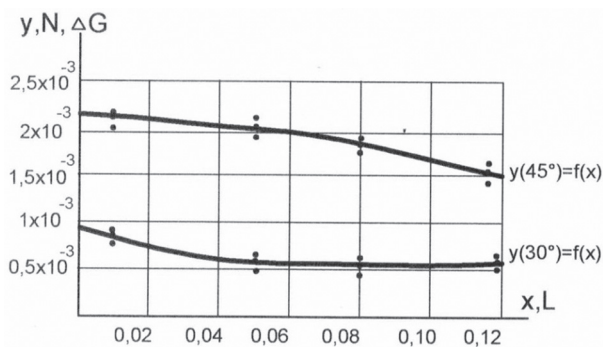


Рис. 4. Эпюры интенсивности износа:

$\Delta G$  – величины интенсивности износа (пропорциональны нормальным давлениям  $N$   $y$  – ось ординат);  $L$  – длина лезвия ( $x$  – ось абсцисс)

Далее, исходя из предполагаемых условий работы, материала детали и ожидаемого ресурса ее работы по номограмме рис. 3 назначается соответствующая толщина нанесения упрочняющего материала. В практике для сталей 25 и 55 толщина упрочняющего материала, как правило, назначается в интервале  $n = 1,5-6,0$  мм.

Учитывая реальный характер нагружения детали в конкретных условиях эксплуатации

и принимая назначенное значение толщины упрочняющего слоя материала в качестве  $n_{\min}$ , то есть минимальный равномерный слой, переходим к следующему соотношению:

$$\frac{n_{\min}}{y_{\min}} = \frac{n_i}{n_i}, \quad (4)$$

где  $n_{\min}$  – минимальная толщина условно первоначального равномерного слоя нанесения упрочняющего материала;  $y_{\min}$  – минимальное значение функции  $y(45^\circ) = f(L)$ ;  $n_i, y_i$  – текущие значения показателей.

Тогда условно равномерный слой упрочнения необходимо увеличить по толщине на некоторую величину поверхностного завершения.

Для окончательного контура обозначенное соотношение  $\frac{n_{\min}}{y_{\min}}$  принимаем в качестве коэффициента приведения к и получаем текущее значение толщины слоя нанесения упрочнения:

$$n_i = k y(45^\circ) = k (0,023 L^3 - 0,436 L^2 + 1,284L + 23,444), \quad (5)$$

где текущее значение аргумента  $L$  представляют собой расстояние от кромки лезвия долота.

Таким образом, получены значения функции  $n_i = k f(L)$  дифференцированного распределения упрочняющего материала по лезвию рыхлящего зуба (прямого клина). При расчете расхода упрочняющего материала можно исходить из площади сечения криволинейной трапеции

$$S_{(45^\circ)} = k \int_0^{0,12} \left( 0,023L^3 - 0,436L^2 + 1,234L + 23,444 \right) dL .$$

### Выводы

Для выявления характера распределения давления на лезвия рабочих органов грунтообрабатывающих машин, а также локальных участков большего или меньшего ожидаемого износа целесообразно, предварительно для анализа, использовать легкоизнашиваемые материалы, специально наносимые на исследуемые детали в качестве индикаторов внешнего нагружения.

При рациональном использовании и расходовании материалов твердосплавных покрытий следует выбирать параметры их нанесения с учетом индивидуальных условий последующей практики эксплуатации, при этом тол-

щины их нанесения производить по подобию кривой эпюры нормальных давлений, которые возникают в условиях реальных работ.

### Литература

1. Бернштейн Д.Б. Абразивное изнашивание лемешного лезвия и работоспособность плуга // Тракторы и сельхозмашины. 2002. № 6. С. 39–42.
2. Новиков В.С. Упрочнение рабочих органов почвообрабатывающих машин. М.: ФГБОУ ВПО МГАУ им. В.П. Горячкина. 2013. 112 с.
3. Мяленко В.И. Моделирование надежности при проектировании почворезущих деталей сельхозмашин // Тракторы и сельхозмашины, 2015. № 3. С. 44–47.
4. Чичинадзе А.В., Браун Э.Д., Буше Н.А., Буяновский И.А., Геккер Ф.Р., Горячева И.Г., Гриб В.В., Демкин Н.Б., Добыгин М.Н., Евдокимов Ю.А., Захаров С.М., Кершепбаум В.Я., Лужнов Ю.М., Михин Н.М., Романова А.Т., Фуке И.Г. Основы трибологии (трение, износ, смазка) / под общ. ред. А.В. Чичинадзе, 2-е изд. переработ. и доп. М.: Машиностроение, 2001. 664 с.
5. Севернев М.М., Подлекаев И.И., Сохадзе В.Ш. Критиков В.О. Износ и коррозия сельскохозяйственных машин / под ред. М.М. Севернева. Минск: Белорус. наука, 2011. 333 с.

### References

1. Bernshtejn D.B. Abrasive plow blade wear and plow performance. *Traktory i s.-h. mashiny*, 2002. No 6, pp. 39-42 (in Russ.).
2. Novikov V.S. Uprochnenie rabochih organov pochvoobrabatyvayushchih mashin [Hardening the working bodies of tillage machines]. Moscow: FGBOU VPO MGAU im. V.P. Goryachkina Publ., 2013. 112 p.
3. Myalenko, V.I. Simulation of reliability in the design of soil-cutting parts of agricultural machinery. *Traktory i s.-h. mashiny*, 2015. No 3, pp. 44–47 (in Russ.).
4. CHichinadze A.V., Braun E.H.D., Bushe N.A., Buyanovskij I.A., Gekker F.R., Goryacheva I.G., Grib V.V., Demkin N.B., Dobygin M.N., Evdokimov YU.A., Zaharov S.M., Kershepbaum V.YA., Luzhnov YU.M., Mihin N.M., Romanova A.T., Fuks I.G. *Osnovy tribologii (trenie, iznos, smazka)* [The basics of tribology]. Pod obshch. red. A.V. CHichinadze, 2-e izd. pererabot. i dop. Moscow: Mashinostroenie Publ., 2001. 664 p.
5. Severnev M.M., Podlekaev I.I., Sohadze V.SH. Kiritikov V.O. *Iznos i korroziya sel'skohozyajstvennyh mashin* [Wear and corrosion of agricultural machinery]. Pod red. M.M. Severneva. Minsk: Belarus. nauka Publ., 2011. 333 p.