

# ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС В АПК

УДК 631.31.02-192.001.18

DOI 10.26897/1728-7936-2017-6-56-62

**ЕРОХИН МИХАИЛ НИКИТЬЕВИЧ**, академик РАН, докт. техн. наук, профессор

E-mail: er.mihn@mail.ru

**НОВИКОВ ВЛАДИМИР САВЕЛЬЕВИЧ**, докт. техн. наук

E-mail: tsmo@rgau-msha.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, ул. Тимирязевская, 49, Москва, Российская Федерация

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН ПРИ ИХ РАЗРАБОТКЕ

Предложена методика аналитического расчета долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин, позволяющая на стадии проектирования оценить эффективность использования различных материалов и вариантов технологий их изготовления и упрочнения. Практическое применение методики рассмотрено на примере расчета ресурса лемехов, изготовленных из материалов 30ХГСА, 65Г, 40Х, 40ХС. Для опытного лемеха приняты следующие размеры: ширина носка 155 мм; предельная величина носовой части 90 мм; ширина лезвийной части 130 мм; предельная ширина лезвийной части 90 мм. Расчеты проведены для вспашки суглинистой легкой почвы с относительной изнашивающей способностью по механическому составу 0,42 при эталонном давлении абразива. Твердость почвы принята 3,0 МПа. Скорость вспашки – 8 км/ч. Толщина носовой части лемеха – 10 мм. Средняя толщина лезвийной части – 7 мм. В качестве эталонного абразива применялся кварц с относительной влажностью 1% и относительной изнашивающей способностью, равной единице. В качестве эталонного материала применялся образец из стали 45 в состоянии поставки твердостью HRB 90, относительной износостойкостью, равной единице. За эталонные условия изнашивания приняты: давление абразива на изнашивающую поверхность 0,1 МПа; скорость абразивных частиц относительно образца 1 км/ч; поверхность трения образца 1 см<sup>2</sup>; время изнашивания 1 ч. Подчеркивается целесообразность применения стали 40ХС для изготовления лемехов, так как ресурс лемеха из стали 40ХС в 1,65 раза выше, чем ресурс лемеха из стали 65Г.

**Ключевые слова:** обработка почвы, рабочие органы, лемех плуга, ресурс, прогнозирование.

**Введение.** Эффективность сельскохозяйственного производства во многом зависит от его технической оснащенности качественной сельскохозяйственной техникой. Затраты на ремонт и техническое обслуживание в структуре себестоимости сельскохозяйственной продукции достигают 12 и более процентов [1]. Особенно интенсивно изнашиваются рабочие органы почвообрабатывающих машин. Например, ресурс лемехов, в зависимости от почвенно-климатических условий, не превышает 5...20 га.

**Цель и задачи исследования** – разработка алгоритма прогнозирования ресурса рабочих органов почвообрабатывающих машин и оценки эффективности предлагаемых решений на стадии их проектирования.

**Материал и методы.** При анализе основных проблем в разработке сельскохозяйственных машин В.П. Горячкин отмечал, что их расчет «должен быть построен своеобразно, а именно на изнашива-

нии их» [2]. Очень важно еще на стадии проектирования рабочих органов иметь возможность оценки эффективности принимаемых решений (конструктивных, технологических, материаловедческих и др.) по основному показателю – ресурсу.

В настоящее время долговечность изнашивающихся деталей оценивается двумя путями: 1) статистическим – определение ресурса деталей по результатам обработки статистических данных об их износах в реальных условиях эксплуатации; 2) аналитическим – определение скоростей изнашивания деталей при известных: нагрузках, износостойкости материала, изнашивающей способности почв.

Первый метод позволяет достаточно точно определять ресурс изделия в конкретных условиях эксплуатации. Однако для получения информации необходимы длительные испытания опытных образцов.

Преимущество второго метода состоит в том, что можно заранее прогнозировать ресурс рабоче-

го органа, исходя из известных внешних факторов и механических характеристик материалов деталей, определенных в лабораторных условиях. Недостаток этого метода заключается в том, что его точность ниже первого, так как в лабораторных условиях практически нереально учесть все факторы, влияющие на износ в условиях эксплуатации. Вместе с тем в целом он дает достаточно объективную оценку и может активно использоваться при выборе варианта принимаемого решения.

Свои рекомендации по аналитической оценке процесса изнашивания высказывали многие ученые, в их числе: М.М. Хрущов, П.Н. Львов, И.В. Крагельский, М.М. Тененбаум, А.И. Розенбаум, М.М. Севернев, С.А. Сидоров и др. К сожалению, все они обладают теми или иными недостат-

ками и их практическое использование затруднительно.

Интенсивность разрушения поверхностного слоя материала деталей зависит от множества факторов, комплексно связанных между собой. Это, прежде всего, относительная износостойкость материала деталей, давление, количество и абразивность твердых частиц, участвующих в процессе изнашивания. Все эти факторы имеют вероятностный характер и являются функциями других показателей. Так, давление зависит от твердости почвы, конструктивных параметров рабочих органов, скорости их движения при обработке почвы. Относительная износостойкость материалов и изнашивающая способность абразива, в свою очередь, зависят от давления. Об этом свидетельствуют данные, приведенные в таблице 1 [3].

Таблица 1

**Интенсивность абразивного изнашивания различных материалов в зависимости от давления абразива**

Марка материала	Абразив	Давление, МПа	Интенсивность износа, W, г/ч	Относительная износостойкость
Сталь 45 HRB 90 Эталон	Кварц	0,08	0,0070	1,00
		0,16	0,0190	1,00
		0,33	0,0460	1,00
		0,40	0,0750	1,00
Сталь X12 HRC60	Кварц	0,08	0,0030	2,30
		0,16	0,0060	3,10
		0,33	0,0131	3,50
		0,49	0,0187	4,02
Сталь 65Г HRC52	Кварц	0,08	0,0050	1,40
		0,16	0,0120	1,58
		0,33	0,0240	1,92
		0,49	0,0360	2,08
Сталь 40X HRC55	Кварц	0,08	0,0040	1,75
		0,16	0,0070	2,52
		0,33	0,0170	2,70
		0,49	0,0250	3,00

*Примечание.* Испытания проводились на установке ИМ-01 конструкции ВИСХОМ.

Для определения динамики изнашивания материала введем понятие изнашивания эталонного образца материала эталонным абразивом в эталонных условиях. Примем в качестве эталонного абразива кварц относительной влажностью 1%, относительную изнашивающую способность которого примем  $m_{эт} = 1$ . В качестве эталонного материала примем образец из стали 45 в состоянии поставки твердостью HRB 90, относительную износостойкость которого примем  $\varepsilon_{эт} = 1$ . За эталонные условия изнашивания примем: давление абразива на изнашивающую поверхность  $p_{эт} = 0,1$  МПа; скорость абра-

зивных частиц относительно образца  $v_{отн.эт} = 1$  км/ч; поверхность трения образца  $S_{эт} = 1$  см<sup>2</sup>; время изнашивания  $t_{эт} = 1$  ч.

Так как износ пропорционален изнашивающей способности абразива (почвы), давлению, пути трения, площади трения и обратно пропорционален относительной износостойкости образца (материала), то износ этого образца в весовом измерении будет составлять

$$W_{эт} = K \frac{m_{эт}}{\varepsilon_{эт}} p_{эт} \cdot v_{отн.эт} \cdot S_{эт} \cdot t_{эт} \quad (1)$$

Зная фактический износ эталонного материала в эталонных условиях, можно определить эталонный коэффициент пропорциональности

$$K_{эм} = \frac{W_{эт} \cdot \varepsilon_{эт}}{m_{эт} \cdot p_{эт} \cdot v_{эт} \cdot S_{эт} \cdot t_{эт}} \quad (2)$$

Износ любого другого материала в других условиях может быть определен по выражению

$$W_p = K_{эм} \frac{m_{эт} \cdot \eta_1}{\varepsilon_{эт} \cdot \eta_2} \cdot v \cdot p, \quad \text{г/ч.} \quad (3)$$

При известном предельном износе рабочего органа легко определяется его долговечность по следующей зависимости:

$$T = \frac{\Delta h_{эм} \cdot \varepsilon_{эт} \cdot \eta_2 \cdot A \cdot a}{K_{эм} \cdot m_{эт} \cdot \eta_1 \cdot p \cdot v_o}, \quad \text{га,} \quad (4)$$

где  $\Delta h_{эм}$  – предельный износ рабочего органа на наиболее изнашиваемом участке, мм;  $\varepsilon_{эт}$  – относительная износостойкость материала, из которого изготовлен рабочий орган, при давлении  $p_{эт} = 0,1$  МПа;  $m_{эт}$  – относительная изнашивающая способность почвы по механическому составу при эталонном  $0,1$  МПа давлении абразива;  $p$  – давление почвы (абразива) на наиболее изнашиваемом участке рабочего органа, МПа;  $\eta_1$  – поправочный коэффициент к изнашивающей способности почвы в зависимости от давления;  $\eta_2$  – поправочный коэффициент на изменение относительной износостойкости материала в зависимости от давления;  $v_o$  – относительная скорость движения частиц по поверхности рабочего органа;  $A$  – производительность рабочего

органа, га/ч;  $K_{эм}$  – эталонный коэффициент пропорциональности;  $a$  – коэффициент, учитывающий изменение толщины носовой и лезвийной частей лемеха при его упрочнении. При толщине носовой и лезвийной частей, равной 10 мм,  $a = 1$ . При толщине носовой части, увеличенной на 1 мм,  $a = 1,1$ , на 2 мм –  $a = 1,2$  и т.д. Соответственно при средней толщине лезвийной части, уменьшенной на 1 мм,  $a = 0,9$ , на 2 мм –  $a = 0,8$  и т.д.

Относительная износостойкость материалов при эталонном давлении абразива  $p_{эт} = 0,1$  МПа определяется по эмпирическим уравнениям [3]:

для стали

$$\varepsilon_{эт} = 0,7(0,24x_1 + 0,07x_2 + 0,58x_3 + 0,11x_4 - 3,54); \quad (5)$$

для наплавков

$$\varepsilon_{эт} = 0,7(0,018x_1 + 0,0023x_2 + 0,3x_3 + 0,21x_4 + 0,15x_5 + 0,076x_6 + 0,4x_7 - 7,47), \quad (6)$$

где  $x_1$  – содержание углерода, %;  $x_2$  – содержание хрома, %;  $x_3$  – содержание вольфрама, %;  $x_4$  – содержание бора, %;  $x_5$  – содержание молибдена, %;  $x_7$  – содержание титана, %;  $x_4$  – твердость в единицах HRC.

Относительная износостойкость материала при давлении абразива  $p_i$  может быть определена по выражению

$$\varepsilon_p = \varepsilon_{эт} \cdot \eta_2. \quad (7)$$

Относительная изнашивающая способность почв при эталонном давлении представлена в таблице 2.

Таблица 2

Относительная изнашивающая способность почв по фракционному составу [3] (эталон – кварц, давление 0,1 МПа)

Тип почвы	Среднее содержание, %		Относительная изнашивающая способность, m
	песок	глина	
Песчаная	95	5	0,87
Супесчаная	85	15	0,62
Суглинистая (легкая)	75	25	0,42
Суглинистая (средняя)	65	35	0,32
Суглинистая (тяжелая)	50	50	0,22
Глинистая (легкая)	35	65	0,15
Глинистая (средняя)	25	75	0,10
Глинистая (тяжелая)	10	90	0,06
Кварцевые частицы	-	-	1,0

Поправочный коэффициент  $\eta_2$  предлагается определять по формуле

$$\eta_2 = 1,75 p_i + 0,825. \quad (8)$$

При давлении абразива  $p_i$  относительная изнашивающая способность почв определяется по формуле

$$m_p = m_{эт} \cdot \eta_1. \quad (9)$$

Поправочный коэффициент  $\eta_1$  предлагается определять по формуле

$$\eta_1 = 9,5 p_1 + 0,04. \quad (10)$$

Практически все рабочие органы машин имеют форму клина. Относительная скорость перемещения частиц  $v_{отн}$  для рабочего органа, имеющего такую форму, равна

$$v_{отн} = \frac{v_n}{\cos\gamma \cdot \cos\alpha} = \frac{v_n}{\chi}, \quad (11)$$

где  $v_n$  – поступательная скорость движения рабочего органа, км/ч;  $\gamma$  – угол установки рабочей поверхности рабочего органа по направлению движения, град.;  $\alpha$  – угол наклона рабочей поверхности клина к горизонту в плоскости, перпендикулярной режущей кромке, град.;  $\chi = \cos\gamma \cdot \cos\alpha$  – отношение поступательной скорости рабочего органа к скорости перемещения пласта почвы по рабочему органу.

Производительность рабочего органа определяется из выражения

$$A = \frac{b \cdot v_n}{10}, \text{ га/ч}, \quad (12)$$

где  $b$  – ширина захвата рабочего органа, м.

**Результаты и обсуждение.** В качестве примера рассмотрена эффективность изготовления опытного образца лемеха (рис. 1) из листовой стали марок: 65Г, 40Х, 30ХГСА и 40ХС [4]. Расчеты проведены для вспашки суглинистой легкой почвы, для которой  $m_{эм} = 0,42$  (табл. 2). Твердость почвы принята  $B_1 = 3,0$  МПа. Скорость вспашки – 8 км/ч. Толщина носовой части лемеха  $a = 10$  мм. Средняя толщина лезвийной части – 7 мм. Выбравочные параметры лемеха:  $\Delta H = H - H_{np}$  – предельный износ по высоте носка, мм.  $\Delta h = h - h_{np}$  – предельный износ по ширине лезвийной части.

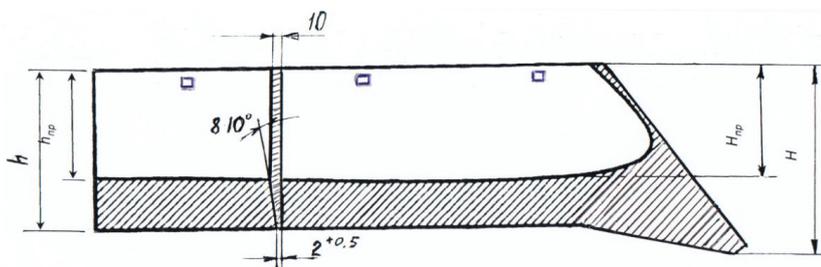


Рис. 1. Конструктивные и выбравочные параметры лемеха

Для опытного лемеха приняты следующие размеры:  $H = 155$  мм;  $H_{np} = 90$  мм;  $h = 130$  мм;  $h_{np} = 90$  мм.

Одним из важнейших требований при выборе марки стали для изготовления лемеха является значение ударной вязкости, которой должна обладать сталь. Ее значение должно быть не менее 30 Дж/см<sup>2</sup>. Этого можно добиться определенными режимами термообработки.

На рисунке 2 представлены изменения основных характеристик стали: временного сопротивления на разрыв  $\sigma_b$ , твердости HRC и ударной вязкости KCU в зависимости от температуры отпуски.

Как видно из графиков, при указанных режимах термообработки и ударной вязкости не менее 30 Дж/см<sup>2</sup> максимальное значение твердости будет составлять: у стали 30ХГСА – HRC50, у стали 40ХС – HRC58, у сталей 65Г и 40Х – HRC48.

При таком значении твердости в соответствии с уравнением 5 относительная износостойкость каждой марки стали при эталонном давлении составит: 65Г и 40Х –  $\varepsilon_{ст} = 1,33$ ; 30ХГСА –  $\varepsilon_{ст} = 1,47$ ; 40ХС –  $\varepsilon_{ст} = 2,1$ .

Максимальные давления, действующие на носке  $p_n$  и лезвийной части  $p_l$  лемеха, с учетом реко-

мендаций [5] определяются по эмпирическим зависимостям

$$p_n = 0,068 \dots 0,12(1 + 0,028_{\beta})(1 + 0,01\beta)(3,5 + B^{1,3}), \text{ МПа}, \quad (13)$$

$$p_l = 0,02 \dots 0,035(1 + 0,028_{\beta})(1 + 0,01\beta)(3,5 + B^{1,3}), \text{ МПа}, \quad (14)$$

где  $v_n$  – поступательная скорость рабочих органов при вспашке, км/ч;  $\beta$  – угол наклона лемеха к дну борозды, град.;  $B$  – твердость почвы, МПа;  $p_n$  – давление на носовой части лемеха, МПа;  $p_l$  – давление на лезвийной части, МПа.

Расчет долговечности лемеха из различных марок сталей (табл. 3) показывает, что она определяется прежде всего долговечностью его носовой части.

Ресурс носовой части лемеха толщиной 10 мм из сталей 40Х и 65Г на суглинистой (легкой) почве при твердости 3,0 МПа составит 10,6 га, при твердости 1,0 МПа – 23,2 га. Ресурс лемеха из стали 40ХС на такой же почве составит соответственно 16,9 и 55,0 га. Таким образом, замена сталей 40Х и 65Г для изготовления лемеха на сталь 40ХС позволит поднять его ресурс примерно в 1,5 раза.

Однако стали, обладающие высокими механическими свойствами, имеют и более высокие цены.

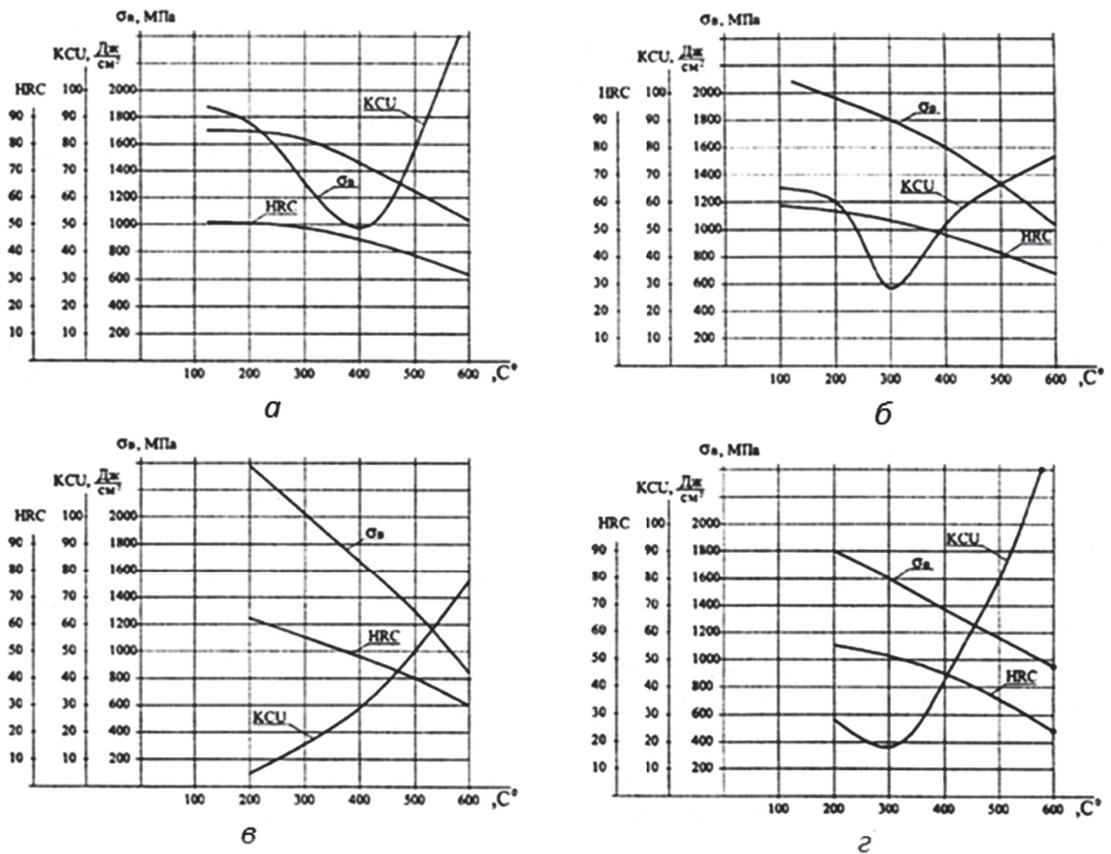


Рис. 2. Изменение основных характеристик сталей в зависимости от температуры отпуска после закалки:  
 а – сталь 30ХГСА (закалка 880°C, отпуск 200°C); б – сталь 40ХС (закалка 900°C, отпуск 150°C);  
 в – сталь 65Г (закалка 830°C, отпуск 400°C); г – сталь 40Х (закалка 850°C, отпуск 370°C)

Таблица 3

Расчетная долговечность лемеха на суглинистой (легкой) почве,  $m = 0,42$

Марка стали и участок лемеха	Долговечность, га при твердости почвы	
	3 МПа	1 МПа
40Х		
Носовая часть	10,6	23,2
Лезвийная часть	24,52	69,6
30ХГСА		
Носовая часть	11,8	25,7
Лезвийная часть	27,0	109,8
65Г		
Носовая часть	10,6	23,2
Лезвийная часть	24,5	99,4
40ХС		
Носовая часть	16,9	36,7
Лезвийная часть	38,6	156,3

В связи с тем, что цены на материалы нестабильны и зависят от многих факторов, в расчетах эффективности целесообразно оперировать не конкретными, а относительными величинами цен. В качестве эталона, так же как при характеристике износостойкости, принят листовой прокат стали 45 толщиной 8...12 мм. Относительная цена этого проката принята за единицу. В качестве критерия выбора оптимальной марки стали использовали выражение [3]:

$$C_u = \frac{ОЦ}{\varepsilon} \rightarrow \min, \quad (15)$$

где  $C_u$  – стоимостная оценка износостойкости;  $ОЦ = \frac{Ц}{Ц_{эт}}$  – относительная цена стали;  $Ц$  – цена той или иной марки стали, руб.;  $Ц_{эт}$  – цена эталонной стали, руб.;  $\varepsilon$  – относительная износостойкость стали.

Расчеты показывают (табл. 4), что наиболее приемлемыми для изготовления лемеха марками сталей

(в порядке убывания эффективности стоимостной оценки износостойкости) являются: 40ХС, 40Х, 65Г, 30ХГСА.

Из расчетов также видно, что коэффициенты равноустойкости лемехов  $K_p$ , равные отношению долговечности наиболее изнашиваемого участка – носовой части  $T_1$  к долговечности наименее изнашиваемого участка – лезвийной части  $T_2$ , находятся в пределах от 0,20 до 0,30 в зависимости от твердости почв,  $K_p = \frac{T_1}{T_2}$ . Это значит, что при износе носовой части лемех выбраковывается с достаточно высоким остаточным ресурсом лезвийной части. Для исключения этого обстоятельства необходимо либо повышать ресурс носовой части до ресурса лезвийной части, обеспечивая значение коэффициента равноустойкости, близкое к единице, либо изготавливать лемех из двух частей, долота и собственно лемеха, чтобы при износе долота заменять только его, а лемех продолжать использовать до полного изнашивания. Именно такая конструкция лемеха применяется в зарубежных плугах.

Таблица 4

**Относительные характеристики сталей**

Марка стали	Минимальная температура отпуска, °С	Ударная вязкость, КСЧ, Дж/см <sup>2</sup>	Твердость, НРС	Относительная износостойкость при эталонном давлении	Относительная цена, ОЦ	Стоимостная оценка износостойкости, ОЦ/г
65Г	400	30	48	1,33	1,40	1,05
40Х	370	30	48	1,33	1,35	1,01
30ХГСА	200	90	50	1,47	1,90	1,29
40ХС	150	62	58	2,10	2,10	1,00

Ресурс носовой части лемеха можно повысить различными вариантами:

- 1) наплавкой на обратную сторону сплава ФБХ-6-2;
- 2) наплавкой на обратную сторону металлокерамической пластины ВК-20;
- 3) приваркой на обратную сторону пластины из стали Х12;
- 4) приваркой на лицевую сторону носовой части пластины толщиной 3...5 мм из того же материала, что и сам лемех, плюс один из первых вариантов.

Как показывают расчеты, ресурс лемеха, изготовленного из стали 40ХС и упрочненного сплавом ФБХ-6-2, составит 31 га, металлокерамикой ВК – 40 га (при твердости почвы 3 МПа).

По такому же принципу была изготовлена опытная партия лемехов для плуга фирмы «Lemken» из стали 40Х (рис. 3) с упрочнением пластины из стали Х12. Испытания на полях Калужской области показали, что их ресурс составил более 50 га и сравним с ресурсом фирменных. В случае изготовления этих лемехов из стали 40ХС их ресурс повысился бы дополнительно не менее чем на 40%.



Рис. 3. Общий вид опытного лемеха из стали 40Х

**Выводы**

1. Представленная методика прогнозирования ресурса рабочих органов почвообрабатывающих машин с достаточной для практических целей точностью позволяет обосновать выбор необходимых материалов и технологий их изготовления и упрочнения.

2. Для изготовления рабочих органов почвообрабатывающих машин в нашей стране применяют стали 65Г и 40Х (лемехи, стрельчатые лапы культиваторов, диски дисковых борон, луцильников и др.). Замена этих сталей на сталь 40ХС обеспечит повышение их износостойкости в 1,4...1,65 раза.

**Библиографический список**

1. Черноиванов В.И. Управление качеством в сельском хозяйстве: Научное издание / В.И. Черноиванов, А.А. Ежевский, Н.В. Краснощеков, В.Ф. Федоренко. М.: Росинформагротех, 2011. 341 с.
2. Горячкин В.П. Собрание сочинений (текст). Том 1. М.: Колос, 1965. 720 с.
3. Новиков В.С. Упрочнение рабочих органов почвообрабатывающих машин. М.: МГАУ, 2013. 111 с.

4. Ерохин М.Н., Новиков В.С. О совершенствовании конструктивных параметров рабочих органов плуга // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2005. № 1. С. 25-31.

5. Сидоров С.А. Повышение долговечности и работоспособности рабочих органов почвообрабатывающих машин и орудий, применяемых в сельском и лесном хозяйствах (текст): Автореферат диссертации д.т.н. М., 2007. 33 с.

*Статья поступила 30.10.2017*

## FORECASTING DURABILITY OF WORKING ELEMENTS OF DESIGNED SOIL-CULTIVATING MACHINES

**MIKHAIL N. EROKHIN**, *Academician of the Russian Academy of Sciences, DSc (Eng), Professor*  
E-mail: er.mihn@mail.ru

**VLADIMIR S. NOVIKOV**, *DSc (Eng)*  
E-mail: tsmo@rgau-msha.ru

Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev; 127550, Timiryazevskaya Str., 49, Moscow, Russian Federation

The authors offer a technique of analytical calculation of the durability of working elements of soil-cultivating machines that allows evaluating the efficiency of using various materials and technologies of their manufacturing and hardening at a design stage. Practical application of the technique is exemplified by the calculation of the service life of plowshares made of 30XГСА, 65Г, 40Х, and 40ХС materials. For the experimental share, the following dimensions have been used: the plow-point width of 155 mm; the maximum size of the nose part of 90 mm; the width of the blade part of 130 mm; and the maximum width of the blade part of 90 mm. The calculations have been carried out for the plowing of loamy light soil and a relative wear capacity of 0.42 with a mechanical composition at a standard abrasive pressure. The authors have selected soil hardness of 3.0 МПа, a plowing speed of 8 km/h, the thickness of the nose part of the share of 10 mm, and the average thickness of the blade part of 7 mm. As a reference abrasive, quartz with a relative humidity of 1% and a relative wear capacity equal to one has been used. As a reference material, a sample of steel 45 has been used in the delivery state with a hardness of HRB90, and a relative wear resistance equal to unity. The standard wear conditions have been chosen as follows: the abrasive pressure on the wear surface of 0.1 МПа; the speed of abrasive particles relative to the sample of 1 km/h; the sample friction surface of 1 cm<sup>2</sup>; the wear time of one hour. The research results have proved the expediency of using 40ХС steel for making plough shares, as the service life of the share of 40ХС steel is 1.65 times higher than that of the 65K steel.

**Key words:** soil cultivation, working elements, plow share, service life, forecasting.

**References**

1. Chernoiivanov V.I., Yezhevskiy A.A., Krasnoshechikov N.V., Fedorenko V.F. Upravleniye kachestvom v sel'skom khozyaystve: Nauchnoye izdaniye [Quality management in agriculture: Scientific publication]. Moscow, Rosinformagrotekh, 2011. 341 p. (in Rus.)
2. Goryachkin V.P. Sobraniye sochineniy (tekst) [Collected Works (text)]. Vol. 1. Moscow, Kolos, 1965. 720 p. (in Rus.)
3. Novikov V.S. Uprochneniye rabochikh organov pochvoobrabatyvayushchikh mashin [Hardening of working elements of soil tillers]. Moscow, MGAU, 2013. 111 p. (in Rus.)

4. Yerokhin M.N., Novikov V.S. O sovershenstvovaniy konstruktivnykh parametrov rabochikh organov pluga [On the improvement of constructive parameters of plow working elements]. *Vestnik MGAU imeni V.P. Goryachkina*. 2005. No. 1. Pp. 25-31. (in Rus.)

5. Sidorov S.A. Povysheniye dolgovechnosti i rabotosposobnosti rabochikh organov pochvoobrabatyvayushchikh mashin i orudiy, primenyayemykh v sel'skom i lesnom khozyaystvakh [Increasing durability and capacity of working elements of soil-cultivating machines and implements used in agriculture and forestry] (text): Self-view of DSc (Eng) thesis. Moscow, 2007. 33 p. (in Rus.)

*The paper was received on October 30, 2017*