

sgoraniia / R.M. Petrichenko. – Leningrad: LGU, 1983. – 244 s.

10. GOST 52368-2005 (EN 590:2009). Topливо dizelnoe Evro. Tekhnicheskie usloviia.

11. Ukhanov, A.P. Dizelnoe smesevoe toplivo / A.P. Ukhanov, D.A. Ukhanov, D.S. Shemenov: monografiia. – Penza: RIO PGSKhA, 2012. – 148 s.

12. Markov, V.A. Ispolzovanie podsolnechnogo masla v kachestve topliva dlia dizelei / V.A. Markov, S.N. Devianin, V.V. Markova // Transport na alternativnom toplive. - 2010. – No. 5 (17). – S. 42-47.

13. Krivenko, D.A. Smesevoe mineralno-rastitelnoe toplivo dlia DVS selskokhoziaistvennykh mashin na osnove mestnogo syria, i tekhnologiiia ego polucheniia / D.A. Krivenko, A.V. Ishkov // Ag-rarnaia nauka – selskomu khoziaistvu: sbornik ma-terialov: v 2 kn. / XVII Mezhdunarodnaia nauchno-prakticheskaia konferentsiia. – Barnaul: RIO Altaiskogo GAU, 2022. – Kn. 2. – S. 49-52.

14. Krivenko D.A., Logvinov A.Iu., Ishkov A.V. Issledovanie rabocheho protsessa avtotraktornykh dizelei Minskogo motornogo zavoda na rezhime maksimalnoi moshchnosti pri ispolzovanii alternativnogo biotopliva // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2024. – No. 3 (233). – S. 75-84. DOI: 10.53083/1996-4277-2024-233-3-75-84.

15. Programmnyi kompleks DIZEL-RK: ofitsialnyi sait. – Elektron. resurs. – Rezhim dostupa: <https://diesel-rk.ru/Rus/>. (02.02.2024).

16. Dizeli D-243, D-245 i ikh modifikatsii / rukovodstvo po ekspluatatsii. – Minsk: OAO MMZ, 2009. – 80 s.

17. Dizelnyi dvigatel MMZ D-243: ofitsialnyi sait. – Elektron. resurs. – Rezhim dostupa:

https://www.powerunit.ru/services/technical_support/diesel_engines/mmz/d_243/. (02.02.2024).

18. Dizelnyi dvigatel MMZ D-245: ofitsialnyi sait. – Elektron. resurs. – Rezhim dostupa: https://www.powerunit.ru/services/technical_support/diesel_engines/mmz/d_245/. (02.02.2024).

19. Krivenko, D.A. Ishkov A.V., Novozhenov V.A. Teplotvornaia sposobnost oksiproizvodnykh triglitseridov podsolnechnogo masla i perspektivy ikh ispolzovaniia v alternativnom toplive dlia selkhoz mashin / D.A. Krivenko, A.V. Ishkov, V.A. Novozhenov V.A. // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2023. – No. 3 (221). – S. 86-94.

20. Okhotnikov B.L. Ekspluatatsiia dvigatelei vnutrennego sgoraniia / B.L. Okhotnikov / uchebnoe posobie. – Ekaterinburg: Izd-vo Uralskogo un-ta, 2014. – 140 s.

21. Gnedova L.A., Gritsenko K.A., Lapushkin N.A., Liugai S.V., Peretriakhina V.B. Ekologicheskie klassy avtotransportnykh sredstv i motornykh topliv // Transport na alternativnom toplive. – 2012. – No. 4 (28). – S. 22-27.

22. Morales, C., Mafla, C., Cevallos, I., Hernandez, E. (2021). Effect of the use of additives in biodiesel blends on the performance and opacity of a diesel engine. *Materials Today: Proceedings*. 49. DOI: 10.1016/j.matpr.2021.07.478.

23. Ukhanov, A.P. Eksperimentalnaia otsenka vliianiia smesevogo topliva na pokazateli rabocheho protsessa dizelia / A.P. Ukhanov, E.A. Sidorov, L.I. Sidorova, E.D. Godina // Izvestiia Samarskoi GSKhA. – 2012. – No. 3. – S. 33-37.



УДК 631.316.022.4:620.178.16
DOI: 10.53083/1996-4277-2024-234-4-85-92

Р.В. Даманский
R.V. Damanskiy

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ИЗНОСА РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ
СТРЕЛЬЧАТЫХ ЛАП КУЛЬТИВАТОРОВ ИЗ СТАЛЕЙ 65Г И 20
ПРИ ИСПЫТАНИЯХ В ПОЧВЕННОМ КАНАЛЕ**

**STUDY OF WEAR CHARACTERISTICS OF THE CUTTING EDGE OF DUCKFOOT SWEEPS
OF CULTIVATORS MADE OF STEELS 65G AND 20 DURING TESTS IN A SOIL CHANNEL**

Ключевые слова: культиватор, стрелчатая лапа, износ, режущая кромка, затупление, почвенный канал, упрочнение, индукционная закалка, цементация.

Keywords: cultivator, duckfoot sweep, wear, cutting edge, blunting, soil channel, hardening, induction hardening, carburizing.

В последние годы в растениеводстве, несмотря на широкое внедрение прогрессивных технологий минимальной и «нулевой» обработки почвы (No-Till), традиционные агротехнологии по-прежнему остаются актуальными, особенно для восстановления структуры и плодородия почв. В почвообрабатывающих машинах, применяющихся в безотвальных технологиях, одним из основных типов рабочих органов являются стрельчатые лапы. Почвообрабатывающие машины со стрельчатыми лапами могут применяться для: предпосевной обработки почвы, культивации пара, вспашки зяби, выравнивания поверхности поля, уничтожения сорняков, прикатывания почвы, посева, внесения удобрений и др., а также они могут агрегатироваться путем сцепки, в составе МТА, образуя универсальные посевные почвообрабатывающие комплексы – посевные комбайны. Однако стрельчатые лапы, как и другие типы почвообрабатывающих органов, быстро изнашиваются, особенно по режущей кромке, что снижает качество агротехнологических операций. Исследованы закономерности изнашивания режущей кромки стрельчатых лап культиватора КС-7,4 «Сибиряк», выполненных из сталей 65Г и 20 и упрочненных на производстве различными способами, при их испытаниях в почвенном канале. Определена величина затупления режущей кромки r_t детали и ее линейного износа l_l в 10 фиксированных контрольных точках, которые показали, что оба вида стрельчатых лап в точках № 1-4(6), вблизи их носка, уже достигли или превысили свое предельное состояние на 75,5-130%, при наработке до 7,5-7,9 га, что далеко от нормированного значения. Показано, что эффективная замена стали 65Г на бюджетный конструкционный материал – сталь 20 потребует дополнитель-

ного упрочнения носка лапы в эти точках, например, индукционной наплавкой твердых сплавов.

In recent years in crop production, despite the widespread introduction of progressive technologies of minimum and "zero" tillage (No-Till), traditional agrotechnologies still remain relevant, especially for restoration of soil structure and fertility. In tillage equipment used in no-tillage technologies, one of the main types of working tools is a duckfoot sweep. Tillage implements with duckfoot sweeps may be used for: pre-sowing tillage, fallow tillage, autumn plowing, field leveling, weed control, soil rolling, sowing, fertilizing, etc., and they may be aggregated by coupling, as a part of a machine-tractor unit forming universal sowing tillage complexes - sowing combines. However, duckfoot sweeps as well as other types of tillage tools wear out quickly, especially along the cutting edge, which reduces the quality of agro-technological operations. This study deals with the regularities of wear of cutting edge of duckfoot sweeps of KS-7.4 "Sibiryak" cultivator made of steel 65G and 20 and hardened in production by different methods at their tests in a soil channel. The value of blunting of the cutting edge r_t of the part and its linear wear l_l , in 10 fixed control points was determined which showed that both types of duckfoot sweeps, in points Nos. 1...4(6), near their toe, already reached or exceeded their limit state by 75.5...130%, at the run up to 7.5...7.9 ha which was far from the standardized value. It is shown that for effective replacement of steel 65G by budget construction material steel 20, it will require additional hardening of the toe in these points, for example, by induction build-up welding with hard alloys.

Даманский Роман Викторович, к.т.н., науч. сотр., ФГБНУ «Омский аграрный научный центр», г. Омск, Российская Федерация, e-mail: damanskiy@anc55.ru.

Damanskiy Roman Viktorovich, Cand. Tech. Sci., Researcher, Omsk Agricultural Scientific Center, Omsk, Russian Federation, e-mail: damanskiy@anc55.ru.

Введение

В последние годы за рубежом и в отечественном растениеводстве при выращивании различных культур наблюдается широкое внедрение прогрессивных технологий минимальной и «нулевой» обработки почвы (No-Till), использование энергонасыщенных почвообрабатывающих машин и орудий (тяжелых дисковых борон), различных вариантов сцепок нескольких машин и орудий в посевные почвообрабатывающие комплексы (ППК или посевные комбайны), а также другие интенсивные технологии [1-3]. Тем не менее и традиционные агротехнологии, такие как культивация, безотвальная вспашка, щелевание, и даже «классическая» вспашка с оборотом пласта почвы, по-прежнему остаются актуальными, особенно при поддержании и восстановлении структуры и плодородия почв [4].

Это связано прежде всего с особенностями самого перемещения плоского (клиновидного) рабочего органа под углом в почве и осуществляемых им при этом необходимых и достаточных воздействий как на почвенные слои, так и на корневую систему и стебли сорных растений, о котором упоминал еще академик В.П. Горячкин [5]. Поэтому одним из основных типов рабочих органов почвообрабатывающих машин (ПОМ) являются стрельчатые лапы (СЛ) различных конструкций [6]. Меняя ширину захвата, количество сошников, их расстановку на орудии, след и перекрытие СЛ, а также рядность ПОМ, механизатору зачастую удается одним плугом-плоскорезом, пропашным культиватором или сеялкой со стрельчатыми сошниками выполнять широкий круг агротехнологических операций на различных культурах и севооборотах, просто

перенастраивая орудие, либо изменяя параметры его движения [7].

Однако СЛ, как и другие типы рабочих органов ПОМ, имеют ограниченный ресурс и быстро изнашиваются по своим основным конструктивным элементам (крыльям, носку, стойке), и особенно по режущей кромке, что сильно снижает качество агротехнологических операций [8]. С износом режущей кромки резко ухудшаются производительность, растет тяговое сопротивление, увеличивается расход топлива МТА, поэтому сохранение остроты режущей кромки является одной из основных задач при проектировании, изготовлении и эксплуатации СЛ.

Известно, что нормируемый ресурс этого рабочего органа не превышает 20-30 га/лапу (или 400 км) [9], а на практике, по некоторым данным, их ресурс иногда не доходит и до 50-75 м-ч для 1-й ПОМ. При среднем числе сошников с СЛ на одну машину до 25-35 шт., скорости движения до 5-10 км/ч это составит еще меньшую величину – в 2,7-3,2 га/лапу [6, 10].

Для увеличения ресурса СЛ их упрочняют различными материалами и технологиями, а также изготавливают рабочие органы из износостойких, легированных сталей. За рубежом для этих целей широко применяют борсодержащие стали 30MnB5, 50MnB5, хромо-ванадиевые стали типа Hardox и др., а также упрочняют их режущую кромку твердосплавными материалами типа ВК, ТК (на основе карбидов вольфрама или титана), что является очень дорогостоящим. В отечественном же сельхозмашиностроении для этого широко применяются стали 65Г, 50ХГ(Ф)А, 9ХС, 18ХГТ и др., а также придерживаются идеологии замены основного материала детали на более дешевые конструкционные материалы, с их последующим упрочнением, при обеспечении оптимального соотношения цена/качество, и 100%-ного и выше ресурса детали после реновации, либо также используют новые материалы и технологии упрочнения [11, 12]. Автор считает, что использование для изготовления СЛ культиваторов низкоуглеродистых, цементируемых сталей (сталь 20, 25) с оптимальным вариантом упрочнения их режущей кромки, более предпочтительно, чем их изготовление из легированных сталей. Это позволит увеличить ресурс, снизить расход дорогостоящих материалов, снизить себестоимость выпускаемых деталей.

Цель работы – исследование закономерностей изнашивания режущей кромки СЛ, выпол-

ненной из стали 65Г и стали 20, для обоснования выбора материала детали и технологии ее последующего упрочнения.

Экспериментальная часть

В качестве объекта исследования выступили штампованные СЛ (тип КПЭ) к универсальному культиватору для сплошной обработки КС-7,4 «Сибиряк», изготовленные в заводских условиях из стали 65Г (серийная партия) и стали 20 (опытная партия), производства ФГБНУ «ОЭЗ – филиал Омский АНЦ» (г. Омск).

Исследованные СЛ из стали 65Г были упрочнены ТВЧ-закалкой, а из стали 20 – цементацией. Для испытаний из каждой партии случайно отобрали представительные выборки объемом $n = 10$ шт. каждая [13].

Геометрические параметры всех СЛ идентичны (заключение ЦЗЛ): угол крошения $\alpha = 9^\circ$, угол наклона крыла к горизонтальной плоскости $\varepsilon = 26^\circ$, угол раствора лезвий $2\gamma = 65^\circ$, ширина захвата $a_n = 270$ мм, длина крыла $b_n = 410$ мм, исходная острота (заточка) режущей кромки $r_0 = 0,7$ мм. Производитель гарантирует твердость режущей кромки СЛ из стали 65Г в 45-55 HRCэ, а из стали 20 – в 55-60 HRCэ. Заявленная производителем гарантийная наработка СЛ – 20 га/лапу [14].

Экспериментальные исследования проводили в почвенном канале ФГБНУ «Омский аграрный научный центр» при следующих параметрах: плотность почвы $\rho = 1,2$ г/см³, скорость движения тележки $u = 1,4$ м/с, время испытания $\tau = 65$ ч.

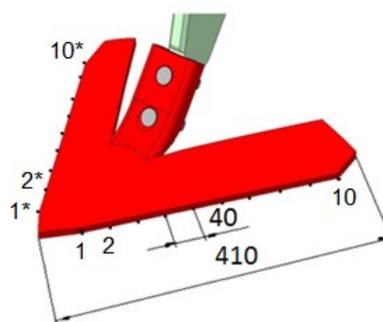


Рис. 1. Схема расположения контрольных точек (1-10 и 1*-10*) для измерения износа режущей кромки на левом и правом крыльях СЛ

Определение изменения остроты режущей кромки СЛ проводили, измеряя радиус ее кромки в 10 контрольных точках, равномерно расположенных с шагом 40 мм по длине крыльев СЛ (рис. 1), в 3-кратной повторности, на оптиметре

ИКВ-1 с ценой деления шкалы 0,001 мм, при его настройке по концевым мерам длины 1-2-го кл. точности (4-5-й разряд), по методике [15]. Полученные результаты для каждой точки статистически обрабатывали и вычисляли параметры: среднее арифметическое значение \bar{r} , дисперсию σ^2 и среднее квадратичное отклонение σ по формулам (1)-(3), а также погрешность измерения δ_r – доверительный интервал по формуле (4) [13]:

$$\bar{r} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{10} r_i; \quad (1)$$

$$\sigma^2 = r_{cp}^2 - \bar{r}^2; \quad (2)$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2}; \quad (3)$$

$$\delta_r = t \cdot \sigma, \quad (4)$$

где t – коэффициент Стьюдента, зависит от уровня вероятности и степеней свободы $n-1$ (при уровне вероятности 95% и степенях свободы в нашем случае $10-1 = 9$, коэффициент $t = 2,262$).

Результаты и их обсуждение

Один культиватор КС-7,4 может агрегатироваться в МТА с тракторами тягового класса 3-5 (Т-150, К-700/702) и предназначен для осуществления различных агротехнологических операций по безотвальной технологии почвообработки [14]: предпосевной обработки почвы, культивации пара, вспашки зяби, выравнивания поверхности поля, уничтожения (подрезка, вычесывание) сорняков, прикатывания почвы. Также возможно исполнение этой машины с дополнительной функцией – внесение минеральных удобрений. Производительность машины до 6,5-8 га/ч при скорости движения 3-7 км/ч. Рама машины трехсекционная, гидрофицированная, количество сошников на одной секции культиватора – 13 шт. (3 ряда, по 4 шт. в ряду + 1 дополнительная), итого, на всей машине – 39 шт. сошников (СЛ).

Таким образом, при испытаниях СЛ в почвенном канале в указанных условиях и геометрических параметрах СЛ получим величину площади, эквивалентную обработанной одним орудием КС-7,4 в реальных условиях, при его скорости близкой к 7 км/ч (при площади перекрытия лап в 10-15%), что соответствует наработке на один рабочий орган от 7,5-7,9 га/лапу. Это величина много ниже нормированных значений для ее предельного состояния [9], но режущая кромка СЛ, как показали испытания, оказывается уже сильно затупленной.

Известно, что исследования в почвенном канале, конечно же, не воспроизводят полностью те условия изнашивания, которые рабочие органы ПОМ испытывают в реальных условиях рядовой эксплуатации, при обработке ими поля по различному фону, при их эксплуатации в составе МТА с переменными усилиями и нагрузками, при их расположении на ППК в первом ряду или по следу, с изменяющимся рельефом, влажностью и абразивностью различных участков поля и пр. Однако неоспоримым преимуществом почвенного канала является отвязка от сезонности испытаний, возможность легкого регулирования времени и нагрузки, проведения ускоренных испытаний, меньшая трудоемкость [16]. Для получения статистически значимых, воспроизводимых и достоверных результатов таких испытаний, показывающих вероятные, объективные закономерности, которые будут иметь место и в реальном опыте, здесь, как и в условиях рядовой эксплуатации ПОМ, необходимо тщательно подходить к объему представительной выборки и статистической обработке полученных данных.

Исходя из общих соображений, разброс результатов экспериментов в почвенном канале по определению изменения заточки режущей кромки и изнашивания СЛ зависит от следующих факторов, которые можно выстроить по важности в следующий ряд: 1) разброс характеристик образцов (твердости), зависящий от неоднородности структуры конструкционного материала лапы; 2) погрешности, зависящие от колебания нагрузки на поверхности режущей кромки, а также грубые нарушения в режиме работы канала; 3) погрешности измерительной аппаратуры.

Указанные факторы (кроме первого) перед проведением экспериментов были минимизированы. Результаты экспериментальных исследований изменения радиусов заточки режущей кромки СЛ, изготовленных из стали 65Г, после их испытаний в почвенном канале приведены в таблице 1.

Как следует из данных таблицы 1, износ режущей кромки вдоль крыла лапы неравномерный (уменьшается от носка краю СЛ), а полученные результаты для всех 10 контрольных точек нельзя обрабатывать совместно, так как данные по этому параметру в 1-й и 10-й точках отличаются на 18-25%, в то время как величина доверительного интервала изменяется от 2,1 до 9,3% (средние значения радиуса заточки и погрешности определения этого параметра для

исследованной выборки СЛ из стали 65, приведены в последних парах строк), т.е. изменение радиуса заточки кромки СЛ вдоль ее крыла статистически значимо и характеризует обнаруженную нами объективную закономерность износа.

По смыслу исследованный нами параметр изнашивания относится к разновидности линейного износа l_i [17], а его расчет по известной формуле (5) дает значение от 84,2 до 111% (последнее значение – катастрофический износ!):

$$I_l = \frac{r_t - r_0}{r_0} \cdot 100\%, \quad (5)$$

где r_0 – исходный радиус заточки лезвия СЛ, 0,7 мм;

r_t – текущий радиус заточки (в конце испытаний).

Видно, что по величине радиуса заточки все СЛ из стали 65Г в окрестности точек у их носка (1-4) за время испытаний достигли, или даже превысили, свое предельное состояние. Аналогичные результаты экспериментальных исследований изменения радиусов заточки режущей кромки СЛ, изготовленных из стали 20, после их испытаний в почвенном канале приведены в таблице 2.

Таблица 1

Значения радиуса заточки режущей кромки стрелчатых лап из стали 65Г после испытаний в почвенном канале, мм

№ дет.	Контрольная точка									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
СЛ из стали 65Г										
1	1,36	1,31	1,29	1,26	1,24	1,21	1,19	1,18	1,15	1,11
2	1,42	1,40	1,38	1,25	1,25	1,22	1,18	1,17	1,13	1,09
3	1,39	1,34	1,33	1,26	1,23	1,23	1,17	1,17	1,12	1,13
4	1,37	1,38	1,37	1,24	1,23	1,20	1,20	1,19	1,16	1,10
5	1,38	1,36	1,32	1,23	1,24	1,20	1,18	1,18	1,17	1,12
6	1,34	1,36	1,34	1,23	1,22	1,19	1,18	1,16	1,16	1,12
7	1,43	1,39	1,36	1,25	1,21	1,21	1,19	1,17	1,13	1,11
8	1,45	1,42	1,38	1,25	1,23	1,21	1,20	1,18	1,14	1,10
9	1,48	1,44	1,42	1,22	1,23	1,20	1,17	1,18	1,14	1,10
10	1,41	1,37	1,37	1,27	1,22	1,20	1,21	1,16	1,15	1,08
Средние по точке в выборке (n = 10)										
σ	1,403	1,377	1,356	1,246	1,23	1,207	1,187	1,174	1,145	1,106
δ_r	0,093	0,081	0,079	0,034	0,025	0,025	0,029	0,029	0,021	0,034

Таблица 2

Значения радиуса заточки режущей кромки стрелчатых лап из стали 20 после испытаний в почвенном канале, мм

№ дет.	Контрольная точка									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
СЛ из стали 20										
1	1,61	1,54	1,52	1,51	1,4	1,41	1,37	1,33	1,27	1,23
2	1,57	1,57	1,55	1,53	1,43	1,38	1,35	1,36	1,3	1,24
3	1,59	1,55	1,52	1,49	1,42	1,37	1,36	1,35	1,29	1,24
4	1,6	1,56	1,53	1,54	1,38	1,4	1,36	1,33	1,28	1,25
5	1,61	1,55	1,53	1,53	1,42	1,38	1,37	1,32	1,32	1,26
6	1,58	1,57	1,56	1,51	1,4	1,41	1,34	1,33	1,3	1,23
7	1,58	1,56	1,54	1,5	1,39	1,4	1,35	1,34	1,3	1,25
8	1,59	1,56	1,55	1,51	1,41	1,39	1,36	1,35	1,29	1,23
9	1,6	1,57	1,52	1,53	1,44	1,39	1,37	1,36	1,28	1,24
10	1,6	1,57	1,54	1,53	1,41	1,41	1,37	1,32	1,29	1,24
Средние по точке выборке (n = 10)										
σ	1,593	1,559	1,536	1,518	1,410	1,394	1,360	1,339	1,292	1,241
δ_r	0,028	0,039	0,0307	0,0347	0,039	0,031	0,023	0,033	0,030	0,021

Как следует из данных таблицы 2, износ СЛ, изготовленных из этого материала и подвергнутых цементации, в целом описывается схожими закономерностями, как и для СЛ, изготовленных из стали 65 Г и подвергнутых ТВЧ-закалке.

Однако линейный износ l , рассчитанный по формуле (5), дает в случае этой экспериментальной партии уже значения от 75,5 до 130% (катастрофический износ!), причем все СЛ из стали 20 за время испытаний достигли или даже превысили свое предельное состояние в окрестности точек (1-6) не только у их носка, но и более чем на половине длины крыла.

Важно, что для оперативных измерений в реальных условиях полевого опыта и рядовой эксплуатации ПОМ для мониторинга радиуса заточки (или соответствующего износа) СЛ можно воспользоваться и более доступными СИ, например, индикаторной скобой или штангенциркулем типа ШЦЦ, так как погрешность в определении этого параметра не превышает 5%, а саму измеряемую величину следует измерять с точностью до второго знака после запятой (табл. 1, 2).

По данным вторых пар строк таблицы 1, 2 были построены кривые изменения исследованного параметра СЛ по длине ее крыла (рис. 2).

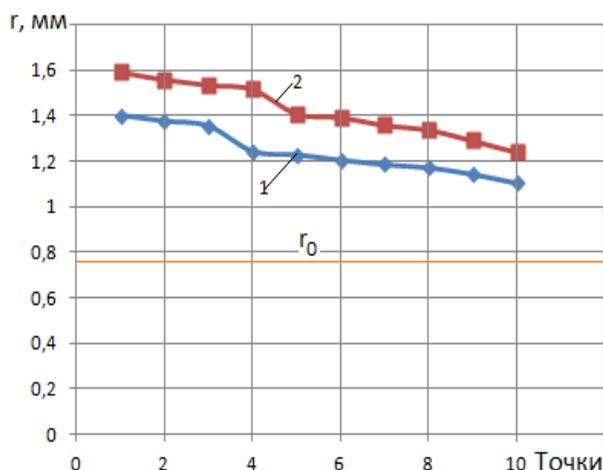


Рис. 2. Зависимость изменения радиуса заточки по длине стрелчатой лапы после испытаний в почвенном канале:
 r_0 – исходный радиус заточки;
 1 – лапа из стали 65Г; 2 – лапа из стали 20

Анализ представленных кривых показывает, что износостойкость режущей части СЛ, изготовленных из стали 65Г, заметно выше, чем лап, изготовленных из стали 20. По отношению к исходной заточке, определяемой линией

$r_0 = 0,7$ мм, точки на кривой 2 лежат почти на 0,15-0,2 мм выше, чем аналогичные точки для лапы, изготовленной из стали 65Г.

По длине режущей кромки вдоль крыла СЛ радиус заточки изменяется более медленно, чем в начальных точках (у носка лапы). Это характерно для обоих рассматриваемых случаев. Если в начальных точках радиус увеличился на 0,893 мм для режущей кромки СЛ, изготовленной из стали 20, и на 0,703 мм из стали 65Г, то в конечной точке увеличение радиусов заточки составило только 0,541 и 0,406 мм соответственно.

По самой же длине режущей кромки в обоих случаях наблюдается неравномерное, нелинейное снижение затупления. Радиус заточки кромки более интенсивно увеличивается в передней части кромки примерно до 4-6-й точки, а затем притупление режущей кромки снижается. Очевидно, это объясняется формированием на поверхности СЛ характерной фигуры изнашивания [17].

Проведенные исследования и анализ полученных результатов показали, что для замены используемого сейчас в серийном производстве конструкционного материала лапы (сталь 65Г) и технологии ее упрочнения (ТВЧ-закалка) на более дешевую низкоуглеродистую сталь 20 и упрочнение детали цементацией принципиальных возражений нет, но необходимо конструктивно, либо технологически, дополнительно упрочнить режущую кромку СЛ в зоне ее носка, хотя бы до точек 4-6, например, композиционными покрытиями, индукционной наплавкой твердых сплавов, электроискровым легированием, или другими способами [12, 18-20].

Выводы

1. Исследованы закономерности изнашивания режущей кромки СЛ культиватора «Сибиряк» КС-7,4 (тип КПЭ), выполненных из стали 65Г и упрочненных ТВЧ-закалкой (серийная партия), а также из стали 20 и упрочненных цементацией (опытная партия), при их испытании в почвенном канале.

2. Определены статистически значимые величины радиуса заточки режущей кромки СЛ r_t , и соответствующие им величины линейного износа l , в 10 контрольных точках, равномерно расположенных на крыльях лапы с шагом 40 мм,

которые показали, что все СЛ из обеих сталей, в точках у их носка № 1-4(6), за время испытаний ($\tau = 65$ ч) достигли или даже превысили свое предельное состояние на 75,5-130% при наработке 7,5-7,9 га, что далеко от нормированных значений.

3. Показано, что для эффективной замены используемого конструкционного материала лапы на бюджетную низкоуглеродистую сталь 20 необходимо, кроме цементации, дополнительно упрочнить режущую кромку СЛ в зоне ее носка, точки № 1-4(6), например, индукционной наплавкой твердых сплавов.

Библиографический список

1. Драйер, Х. Прямой посев – технология завтрашнего дня / Х. Драйер. – Текст: непосредственный // Новое сельское хозяйство. – 2008. – № 4. – С. 56-58.
2. Лачуга, Ю. Ф. Новые технологии и техника для сельского хозяйства России / Ю. В. Лачуга. – Текст: непосредственный // Техника в сельском хозяйстве. – 2004. – № 6. – С. 4-9.
3. Rusu T., Petru G., Ileana B., et al. (2006). Influence of minimum tillage systems on physical and chemical properties of soil. *Journal of Food, Agriculture and Environment*. 4. 262-265.
4. Плескачев, Ю. Н. Влияние способов основной обработки почвы на урожайность зерновых культур / Ю. Н. Плескачев, И. А. Кошечев, С. С. Кандыбин. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2013. – № 1 (99). – С. 23-26.
5. Горячкин, В. П. Собрание сочинений / В. П. Горячкин. – Москва: Колос, 1965. – Т. 2. – 460 с. – Текст: непосредственный.
6. Шайхутдинов, А. С. Стрельчатые лапы посевных машин. Износ и эффективность применения: монография / А. С. Шайхутдинов, Н. Т. Кривочуров. – Саарбрюккен: Изд-во LAMBERT Academic Publishing, 2011. – 128 с. – Текст: непосредственный.
7. Сельскохозяйственные машины: практикум / М. Д. Адиньяев, В. Е. Бердышев, И. В. Бумбар [и др.]; под редакцией А. П. Тарасенко. – Москва: КолоС, 2000. – 240 с. – Текст: непосредственный.
8. Гуреев, И. И. Совершенствование рабочих органов для полосовой обработки почвы по технологии Strip-Till / И. И. Гуреев. – Текст: непосредственный // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2020. – № 3. – С. 77-83.
9. ОСТ 23.2.164-87. Лапы и стойки культиваторов. Общие технические условия. – Текст: непосредственный.
10. Barge, M., Kermouche, G., Gilles, P., Berghau, J.M. (2003). Experimental and numerical study of the ploughing part of abrasive wear. *Wear*. 255. 30-37. DOI: 10.1016/S0043-1648(03)00159-5.
11. Новиков, В.С. Обеспечение долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин: монография / В.С. Новиков. – Москва: ИНФРА-М, 2019. – 155 с. – Текст: непосредственный.
12. Износостойкие композиционные покрытия для рабочих органов сельхозмашин: монография / С. А. Соловьев, В. В. Иванайский, А. В. Ишков [и др.]. – Москва: РАН, 2019. – 187 с. – Текст: непосредственный.
13. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учебное пособие для вузов / В. Е. Гмурман. – Изд. 7-е, стер. – Москва: Высшая школа, 1999. – 479 с. – Текст: непосредственный.
14. Культиватор «Сибиряк» 7,4: официальный сайт. – URL: <https://agrisog.ru/cgdslog/ovsrtka-pochvy/kultivatory/kultivatory-dlya-splushnoy-obrabotki/kultivator-stepnyak-7-4/> (дата обращения: 05.02.2024). – Текст: электронный.
15. МИ 1604-87. Меры длины концевые плоскопараллельные. Общие требования к методам поверки. – Текст: непосредственный.
16. Зволинский, В. Н. Роль почвенного канала при изучении процессов в системе «рабочий орган – почва» / В. Н. Зволинский, М. А. Мосяков, Н. Ю. Николаенко. – Текст: непосредственный // Тракторы и сельхозмашины. – 2016. – Т. 83, № 1. – С. 36-40.
17. Хрущов, М. М. Трение, износ и микротвердость материалов: избранные работы (к 120-летию со дня рождения) / М. М. Хрущов. – Москва: Изд-во «URSS», 2012. – 512 с. – Текст: непосредственный.
18. Индукционная наплавка твердых сплавов / В. Н. Ткачев, Б. М. Фиштейн, Н. В. Казинцев, Д. А. Алдырев. – Москва: Машиностроение, 1970. – 183 с. – Текст: непосредственный.

19. Malvajardi A. S. (2023). Wear and coating of tillage tools: A review. *Heliyon*, 9(6), e16669. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16669>.

20. Даманский, Р. В. Повышение износостойкости рабочих органов культиваторов на предприятиях АПК легированием поверхностного слоя режущей части / Р. В. Даманский. – Текст: непосредственный // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2023. – № 3 (51). – С. 186-194.

References

1. Draier, Kh. Priamoi posev – tekhnologiya zavtrashnego dnia / Kh. Draier // *Novoe selskoe khoziaistvo*. – 2008. – No. 4. – S. 56-58.

2. Lachuga, Iu.F. Novye tekhnologii i tekhnika dlia selskogo khoziaistva Rossii / Iu.V. Lachuga // *Tekhnika v selskom khoziaistve*. – 2004. – No. 6. – S. 4-9.

3. Rusu T., Petru G., Ileana B., et al. (2006). Influence of minimum tillage systems on physical and chemical properties of soil. *Journal of Food, Agriculture and Environment*. 4. 262-265.

4. Pleskachev, Iu.N., Koshcheev I.A., Kandybin S.S. Vlianie sposobov osnovnoi obrabotki pochvy na urozhainost zernovykh kultur / Iu.N. Pleskachev, I.A. Koshcheev, S.S. Kandybin // *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. – 2013. – No. 1 (99). – S. 23-26.

5. Goriachkin, V.P. *Sobranie sochinenii* / V.P. Goriachkin. – Moskva: Kolos, 1965. – T. 2. – 460 s.

6. Shaikhudinov, A.S. Strelchatye lapy posevnykh mashin. Iznos i effektivnost primeneniia: monografiia. / A.S. Shaikhudinov, N.T. Krivochurov. – Saarbrücken: Izd-vo LAMBERT Academic Publishing, 2011. – 128 s.

7. *Selskokhoziaistvennye mashiny: praktikum.* / M.D. Adiniaev, V.E. Berdyshev, I.V. Bumbar [i dr.]; pod red. A.P. Tarasenko. – Moskva: KoloS, 2000. – 240 s.

8. Gureev, I.I. Sovershenstvovanie rabochikh organov dlia polosovoi obrabotki pochvy po tekhnologii Strip-Till / I.I. Gureev // *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. – 2020. – No. 3. – S. 77-83.

9. OST 23.2.164-87. Lapy i stoiki kultivatorov. Obshchie tekhnicheskie usloviia.

10. Barge, M., Kermouche, G., Gilles, P., Berghau, J.M. (2003). Experimental and numerical study of the ploughing part of abrasive wear. *Wear*. 255. 30-37. DOI: 10.1016/S0043-1648(03)00159-5.

11. Novikov, V.S. Obespechenie dolgovechnosti rabochikh organov pochvoobrabatyvaiushchikh mashin: monografiia / V.S. Novikov. – Moskva: INFRA-M, 2019. – 155 s.

12. Iznosostoikie kompozitsionnye pokrytiia dlia rabochikh organov selkhoz mashin: monografiia / S.A. Solovev, V.V. Ivanaiskii, A.V. Ishkov, N.T. Krivochurov, V.P. Lialiakin, V.F. Aulov. – Moskva: RAN, 2019. – 187 s.

13. Gmurman, V.E. Teoriia veroiatnostei i matematicheskaiia statistika: uchebnoe posobie dlia vuzov / V.E. Gmurman. Izd. 7-e, ster. – Moskva: Vysshaia shkola, 1999. – 479 s.

14. Kultivator «Sibiriak» 7,4: ofitsialnyi sait. – Elektron. dannye. – Rezhim dostupa: <https://agrisog.ru/cgdslog/ovssrta-pochvy/kultivatory/kultivatory-dlya-splshnoy-obrabotki/kultivator-stepnyak-7-4/>. (05.02.2024).

15. MI 1604-87. Mery dliny kontsevye ploskoparallelnye. Obshchie trebovaniia k metodam poverki.

16. Zvolinskii, V.N., Rol pochvennogo kanala pri izuchenii protsessov v sisteme «rabochii organ - pochva» / V.N. Zvolinskii, M.A. Mosiakov, N.Iu. Nikolaenko // *Traktory i selkhoz mashiny*. – 2016. – T. 83. – No. 1. – S. 36-40.

17. Khrushchov, M.M. Trenie, iznos i mikrotverdost materialov: izbrannye raboty (k 120-letiu so dnia rozhdeniia) / M.M. Khrushchov. – Moskva: Izd-vo «URSS», 2012. – 512 s.

18. Induktsionnaia naplavka tverdykh splavov / V.N. Tkachev, B.M. Fishtein, N.V. Kazintsev, D.A. Aldyrev. – Moskva: Mashinostroenie, 1970. – 183 s.

19. Malvajardi A. S. (2023). Wear and coating of tillage tools: A review. *Heliyon*, 9(6), e16669. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16669>.

20. Damanskii, R.V. Povyshenie iznosostoikosti rabochikh organov kultivatorov na predpriiatiakh APK legirovaniem poverkhnostnogo sloia rezhushchei chasti / R.V. Damanskii // *Vestnik Omskogo GAU*. – 2023. – No. 3 (51). – S. 186-194.

