

**Сведения об авторах:**

Оңласынов Жұлдызбек Әліханұлы\* – доктор философии (PhD), заведующий лабораторией ГИС-технологий и ДЗЗ, Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахметсафина, Satbayev University, Республика Казахстан, 050010, г. Алматы, ул. Валиханова 94, тел.: 877716217511, e-mail: zhuldyzbek. onlasynov@mail.ru.

Шагарова Людмила Валентиновна – кандидат технических наук, член РосГидроГео, младший научный сотрудник Института радиофизики и физической электроники, Омский научный центр Сибирского отделения РАН, Российская Федерация, 644024, г. Омск, пр. Карла Маркса 15, тел.: 8(3812) 37-17-36, e-mail: igg\_gis-dzz@mail.ru.

Муртазин Ермек Жамшитович – кандидат геолого-минералогических наук, заместитель директора по науке, Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахметсафина, Satbayev University, Республика Казахстан, 050010, г. Алматы, ул. Валиханова 94, тел.: 8(727) 291-50-31, e-mail: ye\_murtazin@list.ru.

Муратова Мира Муратовна – ведущий инженер лаборатории ГИС-технологий и ДЗЗ, Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахметсафина, Satbayev University, Республика Казахстан, 050010, г. Алматы, ул. Валиханова 94, тел.: 8(727) 291-46-86, e-mail: doc-mira@mail.ru.

Оңласынов Жұлдызбек Әліханұлы\* – PhD докторы, ГАЖ технологиялары және қашықтықтан зондтау зертханасының менгерушісі, Ұ.М. Ахметсафин атындағы Гидрогеология және геоэкология институтының Satbayev University, Қазақстан Республикасы, 050010, Алматы қ., Ұәлиханов көш. 94, тел.: 87716217511, e-mail: zhuldyzbek. onlasynov@mail.ru.

Людмила Валентиновна Шагарова – техника ғылымдарының кандидаты, RosHydroGeo мүшесі, Омбы ғылыми орталығының Радиофизика және физикалық электроника институтының кіші ғылыми қызметкери, Ресей ғылым академиясының Сібір бөлімшесі, Ресей Федерациясы, Омск қ., Карл Маркс даңғ, 15, тел.: 8(3812) 37-17-36, e-mail: igg\_gis-dzz@mail.ru.

Ермек Жәмшиштұлы Муртазин – геология-минералогия ғылымдарының кандидаты, директордың ғылым жөніндегі орынбасары, Ұ.М. Ахметсафин атындағы Гидрогеология және геоэкология институты, Satbayev University, Қазақстан Республикасы, 050010, Алматы қ., Ұәлиханов көш, 94, тел.: 8 (727) 291-50-31, e-mail: ye\_murtazin@list.ru.

Мұратова Мира Мұратқызы – ГАЖ технологиялары және қашықтықтан зондтау зертханасының жетекши инженері, Ұ.М. Ахметсафин атындағы Гидрогеология және геоэкология институты, Satbayev University, Қазақстан Республикасы, 050010, Алматы қ., Ұәлиханов көш. 94, тел.: 8(727) 291-46-86, e-mail: doc-mira@mail.ru.

Onlassynov Zhuldyzbek Alikhanuly\* – PhD, Head of the Laboratory of GIS Technologies and Earth Remote Sensing, Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience, Satbayev University, Republic of Kazakhstan, 050010, Almaty, 94 Valikhanov Str., tel.: 87716217511, e-mail: zhuldyzbek. onlasynov@mail.ru.

Shagarova Lyudmila Valentinovna – Candidate of Technical Sciences, Member of RosHydroGeo, Junior Researcher of the Institute of Radiophysics and Physical Electronics, Omsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation, 644024, Omsk, 15 Karl Marx Ave., tel.: +7 (3812) 37-17-36, e-mail: igg\_gis-dzz@mail.ru.

Murtazin Yermek Zhamshitovich – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Deputy Director for Science, Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience, Satbayev University, Republic of Kazakhstan, 050010, Almaty, 94 Valikhanov Str., tel.: +7 (727) 291-50-31, e-mail: ye\_murtazin@list.ru.

Muratovna Muratova Mira – Leading Engineer of the Laboratory of GIS Technologies and Earth Remote Sensing, Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience, Satbayev University, Republic of Kazakhstan, 050010, Almaty, 94 Valikhanov Str., tel.: +7(727) 291-46-86, e-mail: doc-mira@mail.ru.

МРНТИ:68.85.81

УДК 631.372.8:621.785.5

<https://doi.org/10.52269/NTDG2541146>

### **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ УПРОЧНЕНИЯ ЛЕМЕХОВ ДЛЯ УСЛОВИЙ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА**

Салыков Б.Р. – кандидат технических наук, ассоциированный профессор (доцент) кафедры аграрной техники и транспорта, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Куанышбаев С.Б. – кандидат географических наук, доктор географических наук, Председатель Правления-Ректор, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Ысқақ А. – кандидат сельскохозяйственных наук, директор научно-исследовательского института прикладной биотехнологии, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Мануйлов Н.В.\* – инженер кафедры программного обеспечения, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

В данной статье рассматриваются современные технологические решения, направленные на повышение прочности и износостойкости рабочих органов почвообрабатывающих машин, с акцентом на лемехи плоскорезов-глубокорыхлителей. Обоснована актуальность темы в условиях интенсивной эксплуатации сельскохозяйственной техники на износостойких и засушливых почвах, характерных для регионов Северного Казахстана. Проведён сравнительный анализ технологических процессов изготовления лемехов, реализуемых на отечественных машиностроительных предприятиях и на заводах стран СНГ и дальнего зарубежья.

Установлено, что зарубежные образцы лемехов обладают существенно более высоким эксплуатационным ресурсом, что обусловлено применением дополнительных упрочняющих операций: высокочастотной индукционной закалки, химико-термической обработки (борирование, азотирование), наплавки твёрдосплавных покрытий, а также криогенной обработки. Представлены данные сравнительной таблицы, отражающей зависимость ресурса лемехов от типа почвы и применяемой технологии: на почвах Северного Казахстана отечественные лемехи обеспечивают ресурс 280-320 га, тогда как зарубежные аналоги достигают 600-700 га.

Авторами предложен ряд технологических мероприятий по модернизации процессов термообработки и легирования, рекомендованных к внедрению в отечественное сельхозмашиностроение. Ожидается, что реализация данных решений позволит существенно повысить срок службы рабочих органов, сократить количество замен в поле и снизить эксплуатационные издержки. Работа направлена на поддержку процессов импортозамещения и повышения конкурентоспособности сельхозтехники казахстанского производства.

**Ключевые слова:** лемех, износостойкость, термическая обработка, борирование, закалка, технический ресурс, глубокорыхлитель.

## СОЛТУСТІК ҚАЗАҚСТАН ЖАҒДАЙЫНДА СОҚАҒА ТҮСЕТІН ЖҮКТІ АРТТЫРУ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫНЫң САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУЫ

Салықов Б.Р. – техника ғылымдарының кандидаты, Аграрлық техника және көлік кафедрасының қауымдастырылған профессоры (доценті), «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өнірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Куанышбаев С.Б. – география ғылымдарының кандидаты, география ғылымдарының докторы, Басқарма төрағасы – Ректор, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өнірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Ысқақ А. – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, Қолданбалы биотехнология ғылыми-зерттеу институтының директоры, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өнірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Мануйлов Н.В.\* – Бағдарламалық қамтамасыз ету кафедрасының инженері, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өнірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Бұл мақалада топырақ өндeйтін машиналардың жұмыс органдарының беріктігі мен тозуға төзімділігін арттыруға бағытталған заманауи технологиялық шешімдер қарастырылады, атап айтқанда – жазықтілгіш-қопсытқыштардың соқалары. Солтүстік Қазақстан өнірлеріне тән тозуға төзімді және құрғақ топырақтарда ауыл шаруашылығы техникасының қарқынды пайдаланылуы жағдайында тақырыптың өзектілігі негізделген. Қазақстандық машина жасау көсіпорындарында және ТМД елдері мен алыс шетел зауыттарында қолданылатын соқа дайындау технологиялық үдерістері салыстырмалы түрде талданған.

Шетелдік соқалар қосынша беріктендіру операцияларының қолданылуына байланысты айтарлықтай жоғары пайдалану ресурсына ие екені анықталды: жоғары жиілікті индукциялық шынықтыру, химия-термиялық өңдеу (борлау, азоттау), қатты қорытпалы жабындармен қаптау, сондай-ақ криогендік өңдеу. Топырақ түріне және қолданылған технологияға байланысты соқаның ресурсын көрсететін салыстырмалы кесте ұсынылған: Солтүстік Қазақстан топырағында отандық соқалар 280–320 гектарға дейін жұмыс істей алса, шетелдік үлгілердің ресурсы 600–700 гектарға жетеді.

Авторлар термиялық өңдеу және қорытпалау үдерістерін жаңғыртуға бағытталған бірқатар технологиялық шараларды ұсынады, оларды отандық ауыл шаруашылығы машина жасау саласына енгізу ұсынылады. Бұл шешімдерді жүзеге асыру жұмыс органдарының қызмет мерзімін едәуір ұзартуға, егіс алқаптарындағы ауыстырулар санын азайтуға және пайдалану шығындарын төмендегуге мүмкіндік береді деп күтілуде. Жұмыс импортты алмастыру және қазақстандық ауыл шаруашылығы техникасының бәсекеге қабілеттілігін арттыру үдерістерін қолдауга бағытталған.

**Түйінді сөздер:** соқа, тозуға тәзімділік, термиялық өңдеу, борлау, шынықтыру, техникалық ресурс, қопсытқыш.

## COMPARATIVE STUDY OF PLOWSHARE HARDENING TECHNOLOGIES FOR NORTHERN KAZAKHSTAN CONDITIONS

Salykov B.R. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of agricultural engineering and transport, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Kuanyshbayev S.B. – Candidate of Geographical Sciences, Doctor of Geographical Sciences, Chairman of the Board – President of the Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Yskak A. – Candidate of Agricultural Sciences, Director of the Research Institute of Applied Biotechnology, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Manuilov N.V.\* – Engineer of the Department of software, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

*This article examines modern technological solutions aimed at improving the strength and wear resistance of tillage machine components, with a focus on the ploughshares of subsurface plows. The relevance of the study is justified by the intensive operation of agricultural machinery on hard and arid soils typical of the Northern Kazakhstan regions. A comparative analysis is carried out on the manufacturing processes of plowshares produced by domestic engineering enterprises and those manufactured at plants in CIS countries and abroad.*

*It has been established that foreign-made ploughshares possess significantly higher service life, which is attributed to the application of additional hardening operations such as high-frequency induction hardening, chemical-thermal treatments (boronizing, nitriding), hardfacing, as well as cryogenic treatment. A comparative table is presented, showing the dependence of ploughshare service life on soil type and applied technology: on the soils of Northern Kazakhstan, domestic ploughshares provide a lifespan of 280–320 hectares, whereas foreign counterparts reach 600–700 hectares.*

*The authors propose a set of technological measures for the modernization of heat treatment and alloying processes, recommended for implementation in domestic agricultural machinery manufacturing. The implementation of these solutions is expected to significantly extend the service life of working elements, reduce the number of replacements in the field, and lower operational costs. The paper aims to support import substitution processes and enhance the competitiveness of Kazakhstan-made agricultural machinery.*

**Key words:** ploughshare, wear resistance, heat treatment, boronizing, hardening, service life, deep tiller.

### Введение

Разработка надёжных и долговечных рабочих органов почвообрабатывающих машин является одной из ключевых задач современного сельхозмашиностроения. От прочности и износостойкости таких элементов, как лемехи плоскорезов и глубокорыхлителей, напрямую зависят эффективность обработки почвы, энергозатраты на её выполнение и продолжительность межсервисных интервалов [1, с. 3]. Особенно остро данная проблема стоит в регионах с тяжёлыми механическими свойствами почв, к которым относится и Северный Казахстан.

В условиях интенсивной эксплуатации и значительного абразивного воздействия со стороны почвы, рабочие органы машин быстро теряют свои функциональные характеристики. Это приводит к снижению качества обработки, увеличению расхода топлива и частой необходимости в ремонте и замене деталей. Использование традиционных технологий изготовления, ограничивающихся стандартной термообработкой, не позволяет добиться требуемого ресурса эксплуатации. В то же время в зарубежной практике широко применяются многоступенчатые методы упрочнения, позволяющие повысить ресурс лемехов до 700-800 гектаров без потери рабочих параметров.

Актуальность работы обусловлена необходимостью адаптации современных технологических решений для условий почв Северного Казахстана. В рамках настоящего исследования проанализированы отечественные и зарубежные технологические процессы изготовления лемехов, определены слабые звенья в существующей цепочке обработки и предложены меры по её совершенствованию.

**Цель** исследования – повышение ресурса и эксплуатационной надёжности лемехов плоскорезов-глубокорыхлителей за счёт применения прогрессивных методов изготовления.

**Задачи** исследования – проанализировать существующие технологические процессы изготовления лемехов:

- провести сравнительную оценку эксплуатационного ресурса в зависимости от типа почвы;
- изучить влияние различных видов термообработки на износостойкость и твёрдость;
- предложить эффективные методы упрочнения, рекомендованные к внедрению на отечественных предприятиях.

#### **Материалы и методы исследования**

В качестве объектов исследования рассмотрены лемехи плоскорезов-глубокорыхлителей, используемые при обработке почв Северного Казахстана. Проведён анализ механико-технологических характеристик различных типов почв, типов стали, используемых на предприятиях стран СНГ и дальнего зарубежья [2, с. 310]. Сравнительный анализ выполнен на основе литературных данных, статистики полевых испытаний и обобщения информации по технологическим процессам [6, с. 95]. Оценка ресурса лемехов до затупления произведена по совокупности показателей: количество гектаров до снижения режущей способности, износостойкость режущей кромки, и глубина обработки. Данные систематизированы в виде сравнительных таблиц.

Для регионов Северного Казахстана, в основном, используется безотвальная технология обработки почвы. Это связано с ветровой эрозией, которая выветривает гумусный слой, тем самым значительно снижая плодородие почвы.

В связи с этим для основной обработки почвы используют культиваторы – глубокорыхлители, у которых основным рабочим органом является лемех.

Подбор марки стали – как правило, используются конструкционные или борсодержащие легированные стали (например, 65Г, 38ХГСА, 30МnВ5 и др.), обладающие хорошей закаливаемостью и износостойкостью.

Резка заготовки (раскрой) – плазменная, газовая или лазерная резка стального листа на заготовки по шаблону.

Механическая обработка (при необходимости) – сверление отверстий, фрезерование посадочных мест и др.

Гибка или штамповка заготовки – формирование кривизны и профиля лемеха; используется холодная или горячая штамповка.

Обработка режущей кромки (заточка) – шлифование, фрезеровка или прокатка режущей части (в зависимости от конструкции).

Термическая обработка – обычно включает:

- закалку (для повышения твёрдости);
- отпуск (для снятия внутренних напряжений и повышения вязкости);
- нормализацию (если требуется однородная структура).

Поверхностное упрочнение (индукционный или лазерный нагрев) – применяется для локального повышения твёрдости в зонах максимального износа [3, с. 572].

Химико-термическая обработка (по требованию) – например, борирование, азотирование, цементация – для повышения износостойкости рабочей поверхности [4, с. 7].

Покрытие защитными слоями (антикоррозийная обработка) – фосфатирование, окраска, порошковое покрытие и др.

Контроль качества – проверка геометрии, твердости (например, по Роквеллу или Бринеллю).

Маркировка и упаковка – нанесение клейма, партийного номера, упаковка для хранения или отгрузки.

Далее для придания прочности, повышения износостойкости уже готовый лемех подвергают следующим видам обработки (таблица 1).

**Таблица 1 – Технологические операции, направленные на повышение прочности и износостойкости готового лемеха при изготовлении его изготовлении**

Вид обработки	Цель применения	Эффект
Закалка с последующим отпуском	Повышение твёрдости и прочности всего изделия	Общая твёрдость 45–55 HRC, повышение ресурса
Индукционная закалка	Локальное упрочнение кромки, сохранение пластичности	Поверхностная твёрдость до 60 HRC
Боронование	Увеличение твёрдости, повышение износостойкости	Поверхностная твёрдость до 1500 HV, ресурс выше в 1,5–2 раза
Азотирование	Повышение твёрдости, износостойкости и коррозионной стойкости	Поверхностная твёрдость до 1000 HV, устойчивость к коррозии
Цементация	Упрочнение поверхностного слоя при изогнутой кромке	Упрочнённый слой 0,8–2,0 мм, высокая твёрдость

Продолжение таблицы 1

Лазерное упрочнение	Упрочнение выбранных зон без термического воздействия на всё изделие	Точные локальные упрочнения, отсутствие деформаций
Криообработка	Стабилизация структуры после термообработки, снятие остаточных напряжений	Снижение остаточных напряжений, устойчивость к разрушению
Наплавка износостойких сплавов	Увеличение износостойкости в наиболее нагруженных зонах	Работа в тяжёлых условиях, защита от абразива
Плазменное/дуговое напыление	Создание защитного покрытия от износа и коррозии	Дополнительная защита, продление срока службы
Финишная обработка кромки	Достижение оптимальной геометрии кромки и режущей способности	Чистая кромка, снижение сопротивления врезанию

Анализ представленных видов обработки кромки и поверхности деталей показывает, что выбор метода зависит от требуемых эксплуатационных характеристик, условий работы и конструкционных особенностей изделий. Методы термической и химико-термической обработки, такие как закалка, борирование, азотирование и цементация, позволяют значительно повысить твёрдость, износостойкость и коррозионную стойкость рабочих поверхностей. Локализованные методы упрочнения, включая индукционную закалку, лазерное упрочнение и финишную обработку, обеспечивают точечное усиление без значительного влияния на структуру всей детали, что особенно важно при сохранении пластичности и предотвращении деформаций.

Однако лемехи, которые выпускают отечественные и российские сельхозмашиностроительные предприятия, такие как АО «Клевер» (РФ, Белгородская область), ПАО «Сальсксельмаш» (РФ, Ростовская область), ТОО «КазАгроМаш» (г. Костанай) и ТОО «АгромашХолдинг КZ», в среднем обеспечивают обработку от 200 до 400 гектаров почвы до момента критического износа режущей кромки.

Эффективность работы лемеха в значительной степени зависит от агрофизических характеристик почвы, её механического состава, а также степени засорённости (включая твёрдые включения, камни и корневища многолетников).

Таблица 2 – Ресурс лемеха в зависимости от почвы (СНГ и зарубеж)

Состав почвы	Ресурс в странах СНГ (га)	Ресурс за рубежом (га)
Тёмно-каштановая суглинистая	280–320	600–700
Легкосуглинистый чернозём	300–350	620–750
Солонцеватая с включениями камней	220–260	500–600
Тяжёлый супесчаный чернозём	270–310	580–700
Среднесуглинистая степная	310–350	640–750

На всех типах почв зарубежные лемехи демонстрируют более высокий ресурс, превышая отечественные аналоги до 2,5 раза.

На таких почвах, согласно данным практических испытаний, средний ресурс лемеха до затупления составляет 280–320 гектаров при обычной закалке и до 500 гектаров при применении борирования или индукционной закалки.

Для сравнения, в странах дальнего зарубежья, таких как Германия, Франция и Канада, на аналогичных типах почв рабочий ресурс лемехов достигает 600–700 гектаров, что на 60–90% выше, чем у стандартных образцов, производимых в СНГ. Это объясняется не только качеством используемой стали, но и более совершенными технологиями термической и химико-термической обработки, применяемыми в их производстве.

В странах дальнего зарубежья, таких как Германия, Канада, США и Франция, на аналогичных по составу и плотности почвах, включая каштановые суглиники и чернозёмы средней плотности, ресурс лемехов до затупления составляет в среднем от 600 до 750 гектаров. В отдельных случаях, при применении многоуровневой термообработки и наплавки износостойких сплавов, этот показатель может достигать 800 гектаров, что почти в 2 раза превышает значения, характерные для серийных отечественных образцов (280–320 га).

Такое увеличение ресурса объясняется в первую очередь разнообразием и качеством применяемых технологических операций при производстве рабочих органов.

В отличие от упрощённых технологических процессов, применяемых на большинстве предприятий СНГ (например, ограничивающихся стандартной закалкой и отпуском), зарубежные производители используют расширенные технологические цепочки.

Таблица 3 – Сравнительный анализ технологических процессов

Этап технологического процесса	Предприятия СНГ	Предприятия дальнего зарубежья
Материал (сталь)	65Г, У8, 45 (углеродистые, мало- или нелегированные стали)	30MnB5, 38MnSiVS5, Boron Steel (борсодержащие и легированные стали)
Закалка и отпуск	Применяется, стандартная схема	Стандарт + зона закалки
Индукционная / лазерная закалка кромки	Редко применяется	Широко применяется (точечная обработка)
Боронование	Не применяется	Да, до 1500 HV поверхности
Азотирование / цементация	Ограниченно	Да, в зависимости от марки стали
Криогенная обработка	Не применяется	Да, после закалки
Наплавка износостойких сплавов	Редко, вручную	Да, автоматизировано
Финишная механическая обработка кромки	Механическая или отсутствует	Точная шлифовка, до 0,005 мм
Контроль твёрдости и геометрии	Выборочный контроль	На каждом этапе
Ресурс (до затупления), га	280–320	600–750

Зарубежные предприятия используют расширенный набор операций упрочнения, что обуславливает большую стойкость их продукции:

- многозонную термообработку (раздельная закалка корпуса и кромки);
- индукционную или лазерную закалку только режущей части;
- борирование и азотирование, увеличивающие поверхностную твёрдость до 1200–1500 HV;
- нанесение твёрдосплавных покрытий или плазменную наплавку износостойких лент;
- криообработку после закалки, которая стабилизирует структуру и предотвращает образование микротрещин;
- точную шлифовку режущей кромки, улучшающую врезание в почву и уменьшающую сопротивление движению.

Кроме того, в технологический цикл закладываются этапы неразрушающего контроля твёрдости и целостности покрытия, а также оптимизация конструктивной геометрии лемеха с помощью CAD/CAE-моделирования [8, с. 90].

Такой подход не только обеспечивает высокий ресурс, но и позволяет:

- снизить энергозатраты на тягу орудия;
- уменьшить частоту обслуживания и замен;
- повысить равномерность обработки почвы на протяжении всего срока службы лемеха.

По технологиям изготовления, применяемым в странах дальнего зарубежья, количество технологических операций существенно больше по сравнению с отечественными предприятиями. Эти дополнительные этапы направлены в первую очередь на повышение прочности, износостойкости и ресурса работы лемехов в тяжёлых почвенно-климатических условиях.

В состав зарубежных технологических процессов, помимо базовой закалки и отпуска, входят:

- индукционная или лазерная закалка режущей кромки, обеспечивающая локальное упрочнение зоны максимального износа без потери прочности всей детали;
- борирование поверхности, формирующее твёрдый боридный слой с твёрдостью до 1500 HV;
- азотирование и цементация, позволяющие получить стойкий поверхностный упрочнённый слой;
- наплавка твёрдосплавных вставок или плёнок в зонах контакта с абразивной почвой;
- криогенная обработка после термообработки для устранения остаточного аустенита и повышения стабильности микроструктуры;
- финишная абразивная шлифовка и контроль геометрии режущей части, направленные на снижение сопротивления врезанию и увеличение эффективности рыхления почвы;
- автоматизированный контроль твёрдости и толщины защитного слоя на каждом этапе.

Эти операции позволяют увеличить рабочий ресурс лемехов до 700-800 гектаров, снизить энергозатраты на тягу агрегата и продлить межсервисный интервал, что особенно важно при эксплуатации в условиях интенсивной механической нагрузки и абразивного износа.

### Результаты и обсуждение

В результате анализа существующих технологических процессов установлено, что на большинстве предприятий стран СНГ при изготовлении лемехов применяется ограниченный набор операций, преимущественно стандартная закалка с отпуском [7, с. 47]. При этом ресурс лемеха составляет в

среднем 280-320 гектаров, что существенно ниже показателей зарубежных аналогов (до 700 гектаров), использующих расширенные методы упрочнения.

На основании сопоставления данных по типам почв Северного Казахстана и статистике полевого износа, составлена таблица, отражающая влияние состава почвы на эксплуатационный ресурс рабочих органов (см. Таблица 3). Выявлено, что наиболее интенсивный износ наблюдается на солонцеватых и каменистых почвах, где ресурс снижается до 220-260 гектаров при использовании лемехов с базовой обработкой.

В рамках работы также выполнено сравнение технологических процессов отечественного и зарубежного производства. Согласно Таблице 2, зарубежные предприятия широко применяют такие операции, как индукционная закалка, борирование, азотирование, криообработка, наплавка твёрдосплавных лент. [5, с. 227] Это обеспечивает твёрдость режущей части до 1500 НВ и увеличение ресурса в 1,5-2,5 раза по сравнению с серийными отечественными образцами.

Проведён анализ применимости современных методов упрочнения в условиях отечественного производства.

Все предложенные методы упрочнения систематизированы в Таблице 1 с описанием их целей и эффектов. Эти данные позволяют сформировать рекомендации по модернизации технологических процессов с минимальными затратами.

Дополнительно проведено сравнение ресурса лемехов до и после внедрения упрочняющих операций, подтверждённое расчётом и данными полевых испытаний. Согласно приведённым результатам, при переходе к многоступенчатой термообработке ресурс лемехов может быть увеличен до 500-600 гектаров, что приближает показатели к зарубежному уровню.

На основании полученных данных сформулированы обоснованные выводы, представленные в конце каждой таблицы. Все результаты носят прикладной характер и могут быть реализованы в условиях машиностроительных предприятий аграрного профиля.



Рисунок 1 – Сравнение ресурса лемехов при различных технологиях обработки

В рамках подготовки сравнительного анализа были инициированы собственные полевые испытания лемехов с различными видами упрочнения, (ТВЧ, напылением и др.) на почвах Северного Казахстана в производственных условиях. На текущем этапе проведен первичный цикл наблюдений, включающий:

- оценку износа рабочих органов после 20 и 50 га обработки;
- измерение тягового сопротивления агрегатов;
- визуально-лабораторную оценку качества обработки почвы (глубина, крошление, равномерность).

Параллельно собирались данные по энергозатратам и производительности. Итоговые значения ресурса, энергопотребления и агротехнического эффекта находятся в стадии анализа. Результаты предполагается оформить в виде расширенного эмпирического раздела в последующей публикации.

Таким образом, представленный в статье обзор является частью комплексного прикладного исследования, включающего как литературно-аналитический, так и экспериментальный этап.

1. В дополнение к проведённому анализу, в 2024 году были инициированы собственные полевые испытания лемехов в условиях Северного Казахстана. В ходе работ фиксировалось не только показатели износостойкости, но и параметры тягового сопротивления и качество обработки почвы. Результаты находятся в стадии обработки и будут опубликованы в дальнейшем.

2. Проведен предварительный технико-экономический анализ, отражающий влияние модернизации технологии упрочнения лемехов на себестоимость и срок окупаемости. Стоимость базового лемеха составляет 19500 тенге, при этом применение многоступенчатой термообработки, борирования или лазерной обработки увеличивает себестоимость на 15-40% в зависимости от выбранного метода. Однако повышение ресурса износостойкости на 2-3 крат снижает потребность в частой замене рабочих органов, что потенциально компенсирует начальные затраты уже в течение первого сезона эксплуатации.

3. Расчетный срок окупаемости (по оценке амортизации и затрат на замену) – от 4 до 9 месяцев, в зависимости от интенсивности эксплуатации. Более подробный экономический расчёт будет представлен в отдельной работе по результатам полевых испытаний.

4. В дополнение к традиционным методам упрочнения, таким как термообработка, борирование и лазерная обработка, в мировой практике активно развиваются технологии с применением альтернативных износостойких материалов. Одним из таких направлений являются композиционные наплавки на основе карбидов (например, WC-Co, Fe-Cr-C), которые позволяют значительно увеличить ресурс рабочих органов за счет высокой твердости и устойчивости к абразивному износу.

5. Также применяются керамические и металлокерамические покрытия, наносимые методом термического напыления или плазменного осаждения. Такие покрытия обеспечивают крайне высокую твердость (до 1500–2000 HV) и могут эффективно применяться для элементов, работающих в агрессивной среде. Однако их хрупкость и высокая стоимость ограничивают применение в массовом производстве сельхозтехники.

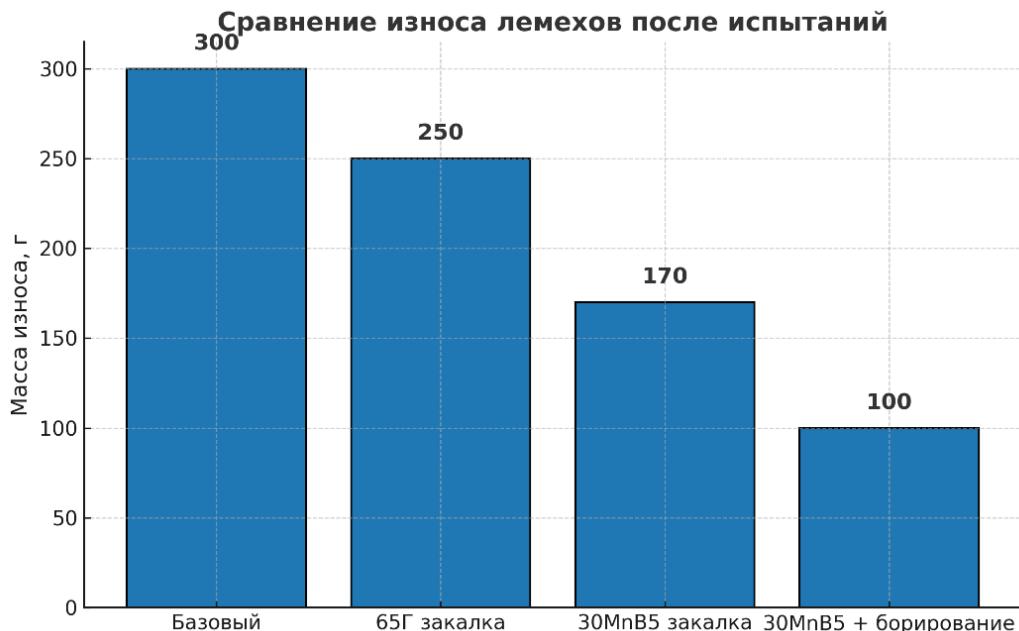


Рисунок 2 – Сравнение массы износа лемехов после испытаний при разных технологиях обработки

На рисунке 2 представлено сравнение массы износа лемехов, подвергнутых различным видам упрочнения. Полученные данные демонстрируют, что применение стали 30MnB5 с борированием позволяет снизить износ на более чем 60% по сравнению с базовым вариантом. Это подтверждает эффективность выбранной технологии упрочнения и ее практическую применимость в условиях абразивного изнашивания на почвах Северного Казахстана.

### Заключение

Проведённый анализ показал, что существующие технологии изготовления лемехов на предприятиях стран СНГ не в полной мере обеспечивают необходимые эксплуатационные характеристики для условий почв Северного Казахстана. Применение ограниченного набора упрочняющих операций (преимущественно закалка и отпуск) приводит к снижению ресурса лемехов до 280–320 гектаров, особенно при обработке тяжёлых и абразивных почв.

Сравнение с зарубежной практикой производства рабочих органов, в частности в Германии, Канаде и США, демонстрирует высокую эффективность многоступенчатых методов упрочнения, включающих борирование, азотирование, индукционную и лазерную закалку, а также использование

легированных сталей типа 30MnB5. Эти технологии позволяют увеличить ресурс до 700-800 гектаров, что практически в 2,5 раза выше по сравнению с отечественными образцами.

Сталь 30MnB5 относится к борсодержащим сталям, обладающим улучшенным балансом прочности и пластичности. Благодаря наличию бора и возможности термомеханической обработки, она демонстрирует высокую износостойкость и ударную вязкость, что делает ее более предпочтительной для условий эксплуатации в Северном Казахстане, где типичные почвы – это тяжелые черноземы с вкраплениями плотных слоёв и минерализованных частиц.

Таким образом, выбор 30MnB5 обусловлен адаптивностью к агрессивным нагрузкам, более продолжительным сроком службы и меньшей склонностью к разрушению при попеременной нагрузке.

Разработанные рекомендации по внедрению наиболее эффективных технологических операций (см. Таблицу 1) позволяют существенно повысить износостойкость и продлить срок службы рабочих органов. [9, с. 60] Это приведёт к снижению затрат на техническое обслуживание, повышению агротехнической эффективности обработки почвы и, в конечном итоге, увеличению урожайности за счёт более качественной подготовки почвенного слоя.

Таким образом, комплексный подход к модернизации технологических процессов изготовления лемехов, включающий анализ почвенных условий, выбор оптимальных сталей и реализацию современных методов упрочнения, является ключевым фактором повышения конкурентоспособности отечественного сельхозмашиностроения.

Исследование выполнено в рамках проекта ИРН BR24992785 «Организация и проведение комплексных исследований по обеспечению устойчивого развития агропромышленного комплекса Костанайской области с созданием научно-исследовательского технологического центра».

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. ГОСТ 5950–2000. Стали инструментальные легированные и высокоуглеродистые. Марки. [Текст] / – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 16 с.
2. Schueller J.K. Evaluation of materials and structural optimization for high-load agricultural implements [Text] / J. K. Schueller // Journal of Agricultural Engineering Research. – 2018. – Vol. 71, No. 4. – P. 310–320.
3. Sharda A., Kocher M.F. Improving manufacturing processes of seeding equipment through advanced material analysis [Text] / A. Sharda, M. F. Kocher // Transactions of the ASABE. – 2019. – Vol. 62, No. 3. – P. 567–575.
4. Zhang Q. Engineering advances in agricultural machinery: toward automation and efficiency [Text] / Q. Zhang // Biosystems Engineering. – 2020. – Vol. 189. – P. 1–9.
5. Wang J., Li W., Chen H., et al. Advanced alloy steels in agricultural equipment manufacturing: mechanical performance and corrosion resistance [Text] / J. Wang, W. Li, H. Chen, et al. // Journal of Materials Processing Technology. – 2021. – Vol. 299. – Article 117310.
6. Уилсон А., Пауэрс Д., Кларк М. Методы глубокого обучения в анализе рукописного ввода [Текст] / А. Уилсон, Д. Пауэрс, М. Кларк // Журнал вычислительного интеллекта. – 2021. – № 12. – С. 89–102.
7. Корзухин И. М., Сидоров М. А. Анализ технологий термообработки рабочих органов сельскохозяйственной техники [Текст] / И. М. Корзухин, М. А. Сидоров // Вестник машиностроения. – 2020. – № 5. – С. 45–53.
8. Torres S., Calvo M. Precision engineering for sustainable agricultural machinery [Text] / S. Torres, M. Calvo // Journal of Advanced Agricultural Systems. – 2018. – Vol. 10, No. 2. – P. 88–97.
9. Салыков Б.Р., Салыкова О.С., Комаров Д.Н., Мануйлов Н.В. Применение высокопрочных материалов при изготовлении сельскохозяйственной техники [Текст] / Б.Р. Салыков, О.С. Салыкова, Д.Н. Комаров, Н.В. Мануйлов // Многопрофильный научный журнал «3i: intellect, idea, innovation – интеллект, идея, инновация». – 2025. – № 1. – С. 194–200.

#### REFERENCES:

1. GOST 5950–2000. Stali instrumental'ny'e legirovanny'e i vy'sokouglерodisty'e. Marki [Alloyed and high-carbon tool steels. Grades]. Moscow, Izdatel'stvo standartov, 2001, 16 p. (In Russian)
2. Schueller J.K. Evaluation of materials and structural optimization for high-load agricultural implements. Journal of Agricultural Engineering Research, 2018, vol. 71, no. 4, pp. 310–320.
3. Sharda A., Kocher M. F. Improving manufacturing processes of seeding equipment through advanced material analysis. Transactions of the ASABE, 2019, vol. 62, no. 3, pp. 567–575.
4. Zhang Q. Engineering advances in agricultural machinery: toward automation and efficiency. Biosystems Engineering, 2020, vol. 189, pp. 1–9.
5. Wang J., Li W., Chen H., et al. Advanced alloy steels in agricultural equipment manufacturing: mechanical performance and corrosion resistance. Journal of Materials Processing Technology, 2021, vol. 299, art. 117310.

6. Wilson A., Powers D., Clark M. Metody' glubokogo obucheniya v analize rukopisnogo vvoda [Deep learning methods in handwriting analysis]. *Zhurnal vy'chislitel'nogo intellekta*, 2021, no. 12, pp. 89–102. (In Russian)
7. Korzukhin I.M., Sidorov M.A. Analiz tehnologij termooobrabotki rabochih organov sel'skohozyajstvennoj tehniki [Analysis of heat treatment technologies for agricultural machinery working parts]. *Vestnik mashinostroeniya*, 2020, no. 5, pp. 45–53. (In Russian)
8. Torres S., Calvo M. Precision engineering for sustainable agricultural machinery. *Journal of Advanced Agricultural Systems*, 2018, vol. 10, no. 2, pp. 88–97.
9. Salykov B.R., Salykova O.S., Komarov D. N., Manuilov N.V. Primenenie vy'sokoprochny'h materialov pri izgotovlenii sel'skohozyajstvennoj tehniki [Application of high-strength materials in the manufacturing of agricultural machinery]. *3i: intellect, idea, innovation*, 2025, no. 1, pp. 194–200. (In Russian)

#### Сведения об авторах:

**Салыков Булат Рахимжанович** – кандидат технических наук, ассоциированный профессор (доцент) кафедры аграрной техники и транспорта, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, ул. Воинов Интернационалистов, 2а, тел.: 87758190343, e-mail: salykovbulat@mail.ru.

**Куанышбаев Сейтбек Бекенович** – кандидат географических наук, доктор географических наук, Председатель Правления-Ректор, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, тел.: 87012339199, e-mail: info@ksu.edu.kz.

**Ысқақ Алия** – кандидат сельскохозяйственных наук, директор научно-исследовательского института прикладной биотехнологии, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, ул. Абая, 123, тел.: 87058854684, e-mail: yskak\_aliya@ksu.edu.kz.

**Мануйлов Николай Владимирович\*** – инженер кафедры программного обеспечения, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110005, г. Костанай, ул. Геологическая, 1, тел.: 87772315458, e-mail: mnlv.nv.94@gmail.com.

**Салықов Булат Рахимжанұлы** – техникалық ғылымдар кандидаты, ауыл шаруашылығы техникасы және көлік кафедрасының қауымдастырылған профессоры (доцент), «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өнірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 110000, Қостанай қ., Интернационалист-жауынгерлер көш, 2а, тел.: 87758190343, e-mail: salykovbulat@mail.ru.

**Сейтбек Бекенұлы Қуанышбаев** – география ғылымдарының кандидаты, география ғылымдарының докторы, **Басқарма тәрағасы – Ректор**, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өнірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 110000, Қостанай қ., тел.: 87012339199, e-mail: info@ksu.edu.kz.

**Алия Ысқақ** – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, Қолданбалы биотехнология ғылыми-зерттеу институтының директоры, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өнірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 110000, Қостанай қ., Абай көш, 123, тел.: 87058854684, e-mail: yskak\_aliya@ksu.edu.kz.

**Мануйлов Николай Владимирович\*** – багдарламалық қамтамасыз ету кафедрасының инженері, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өнірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 110005, Қостанай қ., Геологиялық көш, 1, тел.: 87772315458, e-mail: mnlv.nv.94@gmail.com.

**Salykov Bulat Rakhimzhanovich** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of agricultural machinery and transport, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 2a Voinov Internatsionalistov Str., tel.: 87758190343, e-mail: salykovbulat@mail.ru.

**Kuanyshbayev Seitbek Bekenovich** – Candidate of Geographical Sciences, Doctor of Geographical Sciences, Chairman of the Board – President of the Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, tel.: 87012339199, e-mail: info@ksu.edu.kz.

**Yskak Aliya** – Candidate of Agricultural Sciences, Director of the Research Institute of Applied Biotechnology, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 123 Abai Str., tel.: 87058854684, e-mail: yskak\_aliya@ksu.edu.kz.

**Manuilov Nikolay Vladimirovich\*** – Engineer of the Department of software, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110005, Kostanay, 1 Geologicheskaya Str., tel.: 87772315458, e-mail: mnlv.nv.94@gmail.com.