

УДК 631.3.022

DOI: 10.15393/j2.art.2018

Статья

## Обоснование организации отечественного производства быстро изнашивающихся деталей для импортных многокорпусных плугов

Геннадий И. Анискович<sup>1</sup>, Леонид И. Ковалёв<sup>2</sup>, Игорь Л. Ковалёв<sup>3,\*</sup>

<sup>1</sup> Белорусский государственный аграрный технический университет, 220023, Республика Беларусь, г. Минск, пр. Независимости, д. 99; E-Mail: [author1@email](mailto:author1@email) (Г. А.)

<sup>2</sup> ПК «АМИР-С», 220075, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Селицкого, д. 21/1; E-Mail: [author2@email](mailto:author2@email) (Л. К.)

<sup>3</sup> Институт системных исследований в АПК Национальной академии наук Беларуси, 220108, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Казинца, д. 103; E-Mail: [olbosigor@mail.ru](mailto:olbosigor@mail.ru) (И. К.)

\* Автор, с которым следует вести переписку; E-Mail: [olbosigor@mail.ru](mailto:olbosigor@mail.ru) (И. К.);  
Tel.: (+375 29) 5693965; Fax: (+375 17) 2122005

*Получена: 10 декабря 2018 / Принята: 14 января 2019 / Опубликовано: 15 января 2019*

---

**Аннотация:** На сегодняшний день Республика Беларусь, обладающая достаточно мощным машиностроительным комплексом, имеющая серьёзный научный потенциал в области сельскохозяйственного машиностроения и располагающая современными отечественными технологиями, продолжает закупать некоторые виды техники, двигателей, агрегатов, узлов и комплектующих зарубежных производителей, что зачастую экономически крайне неоправданно и весьма расточительно. Белорусская промышленность и сельское хозяйство пока ещё серьёзно отстают от развитых стран мира по уровню инновационного развития. Доля отечественных компаний, действительно заслуживающих внимания и осуществляющих технологические и иные виды инноваций, в общем количестве предприятий крайне мала. Одним из определяющих факторов этого отставания является недооценка в постсоветский период, за прошедшую четверть века, перспективных возможностей самых различных инновационных технологий и как результат — довольно ограниченное и крайне заторможенное внедрение прорывных инноваций, как в сельскохозяйственном машиностроении, так и агропромышленном комплексе в целом. Заметный и решительный поворот государственной экономической политики страны за последнее время в сферу глубокой технологической трансформации основных секторов экономики

направлен на инновационный рывок и выход на передовые темпы роста в технологическом и экономическом развитии Беларуси. Сокращение разрыва между отечественной наукой и производством, активное внедрение инновационных технологий и технических разработок в жизнь должно стать одним из незыблемых приоритетов и драйверов экономического развития страны. В данной статье приводится краткий обзор современных зарубежных и отечественных технологий изготовления и упрочнения сменных деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин, затронуты проблемы и направления развития в этой области машиностроения. В статье кратко рассматривается лишь небольшой пласт отечественных технологий, касающихся только производства и упрочнения различных по конструкции быстро изнашивающихся сменных деталей рабочих органов аграрной техники, созданных и проверенных в производственных условиях при сотрудничестве Белорусского государственного аграрного технического университета с Институтом порошковой металлургии, Физико-техническим институтом НАН Беларуси, Минским тракторным заводом, РО «Белагросервис», ГУ «БелМИС» и целым рядом других научных и производственных организаций Беларуси. Подробно описаны ключевые положения разработки и технико-экономического обоснования импортозамещающей производственной программы изготовления и упрочнения сменных деталей рабочих органов для зарубежных многокорпусных плугов в условиях предприятий Беларуси.

**Ключевые слова:** плуги тракторные, срок окупаемости, запасные части, износостойкость, производственный цикл, нормативная нагрузка.

---

DOI: 10.15393/j2.art.2018

*Article*

## **Justification of the organization of domestic production of wear parts for imported multi-body plows**

**Gennadiy I. Aniskovich<sup>1</sup>, Leonid I. Kovalev<sup>2</sup>, Igor L. Kovalev<sup>3,\*</sup>**

<sup>1</sup> Belarusian State Agrarian Technical University, 220023, Republic of Belarus, Minsk, Nezavisimosti avenue, 99; E-Mails: author1@email (F. L.)

<sup>2</sup> Production Company "AMIR-S", 220075, Republic of Belarus, Minsk, Selitsky street, 21/1; E-Mail: author2@email (F. L.)

<sup>3</sup> Institute of System Research in Agro-industrial Complex of the National Academy of Sciences of Belarus, 220108, Republic of Belarus, Minsk, Kazinets street, 103; E-Mail: olbosigor@mail.ru (I. K.)

\* Author to whom correspondence should be addressed; E-Mail: olbosigor@mail.ru (I. K.); Tel.: (+375 29) 5693965; Fax: (+375 17) 2122005

*Received: 10 December 2018 / Accepted: 14 January 2019 / Published: 15 January 2019*

---

**Abstract:** Today the Republic of Belarus possesses a rather powerful machine-building complex and has a serious scientific potential in the field of agricultural engineering and modern domestic technologies. However, the Republic continues purchasing some types of equipment, engines, units, and components from foreign manufacturers, which is often economically extremely unjustified and very wasteful. Belarusian industry and agriculture are still seriously lagging behind the developed countries of the world in terms of innovative development. The share of domestic companies that carry out important technological and other types of innovation in the total number of enterprises is extremely small. One of the determining factors of this lag is underestimation of the post-Soviet period in the past quarter century and the promising possibilities of various innovative technologies and, as a result, a rather limited and extremely inhibited introduction of breakthrough innovations both in agricultural engineering and in the agro-industrial complex as a whole. A noticeable and resolute turn of the state economic policy of the country lately into the sphere of deep technological transformation of the main sectors of the economy is aimed at an innovative breakthrough and reaching the advanced growth rates in the technological and economic development of Belarus. Reduction of the gap between the domestic science and production, the active introduction of innovative technologies and technical developments should be one of the unshakable priorities and drivers of the country's economic development. This article provides a brief overview of

modern foreign and domestic technologies of manufacturing and hardening of replacement parts for working bodies of agricultural machines. It touches upon the problems and directions of the development in this field of engineering. The article briefly discusses some domestic technologies for the production and hardening of wear-resistant replaceable parts of the working structures of agricultural machinery, created and tested by the Belarusian State Agrarian Technical University in cooperation with the Institute of Powder Metallurgy, Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk tractor plant, Belagroservice, BelMIS and a number of other scientific and industrial organizations of Belarus. The key provisions of the development and technical and economic substantiation of the import-substituting production program for the production and hardening of replacement parts for working bodies for foreign multi-plow plows in the conditions of Belarusian enterprises are described in detail.

**Keywords:** tractor plows, payback period, spare parts, wear resistance, production cycle, normal load

---

## 1. Введение

Огромные возможности инновационных технологий повышают конкурентоспособность всех сфер экономики; собственно другой альтернативы, нежели развитие высокоэффективной экономики, построенной на современных новейших технологиях, у Беларуси, с её весьма ограниченными сырьевыми ресурсами, сегодня просто не существует [1], [2].

Дальнейшее развитие АПК Республики Беларусь на ближайшие годы определено Государственной программой развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016—2020 гг. утверждённой постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 196 от 11 марта 2016 г. [3], которая требует выполнения мер по обеспечению продовольственной безопасности и импортозамещению на рынке сельскохозяйственной продукции и средств её производства.

Решение данной проблемы возможно лишь через модернизацию технической базы сельскохозяйственных организаций, которая, прежде всего, направлена на обновление и переоснащение материально-технической базы сельхозпроизводства. В то же время техническая модернизация сельского хозяйства республики должна включать не только простую замену старых машин и оборудования на новые. Приоритетным направлением развития должна стать разработка и выпуск новых современных машин и оборудования машиностроительным комплексом страны, которые обязаны существенно сократить необоснованные закупки зарубежных аналогов и комплектующих к ним, что сократит ввоз зарубежных агрегатов и других узлов и комплектующих. В настоящее время актуальна задача по широкому внедрению прогрессивных технологий и освоению широкой гаммы импортозамещающих запасных частей для сельскохозяйственной техники и оборудования, которые по всем техническим параметрам не должны уступать лучшим зарубежным аналогам [4], [5].

Сменные детали рабочих органов сельскохозяйственной техники относятся к числу самых сложных изделий сельскохозяйственного машиностроения [6—8]. Повышение их работоспособности является важной задачей отечественного сельскохозяйственного машиностроения и ремонтного производства. Решение этой научно-технической проблемы требует комплексного подхода, учитывающего конструкторские, технологические, материаловедческие, эксплуатационные, экологические и экономические факторы [9], [10].

## 2. Постановка проблемы

### *2.1. Техничко-технологические аспекты производства деталей рабочих органов сельхозмашин*

Машиностроительными и ремонтно-сервисными организациями Беларуси различной ведомственной подчинённости налажено массовое и серийное изготовление широкой номенклатуры почворежущих элементов: долот и лемехов тракторных плугов, оборотных рыхлительных лап чизельных культиваторов, разнообразных комбинированных агрегатов для предпосевной обработки почвы, ковшовых зубьев экскаваторов и ряда других, быстро

изнашиваемых деталей, которые эксплуатируются в жёстких условиях абразивной среды. Данные почворежущие заменяемые детали работают в прямом контакте с почвой, подвергаются серьёзным динамическим нагрузкам, агрессивным: климатическим, химическим и абразивным воздействиям. Частыми видами поломок, деформации, изменения первоначальной формы и геометрических размеров почворежущих элементов (ПРЭ) является воздействие перечисленных факторов при использовании, как правило, конструкционных материалов недостаточной прочности, принятых для производства этих элементов.

Условия работы деталей рабочих органов машин (ДРОМ) являются определяющими при выборе материала и технологии их изготовления. Абразивная среда (песок, глина, гравелистые частицы и камни), в которой эксплуатируются сменные ДРОМ, создаёт экстремальные условия для их работы. Для обеспечения длительной эксплуатации сменных ДРОМ, работающих в тяжёлых условиях абразивного изнашивания, характерных для почв республики, необходимо при их производстве применять качественные конструкционные стали и соответствующие технологии их упрочнения. Для изготовления ДРОМ применяются разработанные отечественные технологии, позволяющие производить конкурентоспособные изделия. К числу технологических решений относятся: технология импульсного закалочного охлаждения жидкостью с печного или индукционного нагрева; технология формообразования лезвийной части термопластической обработкой на станах продольной и поперечной прокатки; технология отпуска при индукционном нагреве; плазменные (закалка, модифицирование, наплавка) и лазерные (закалка, модифицирование, наплавка) технологии; технология диффузионного намораживания износостойкими сплавами. Перечисленные технологии являются высокопроизводительными, экологически чистыми и отвечают требованиям по энерго- и ресурсосбережению. Они являются базовыми при изготовлении ДРОМ [11].

Анализ уровня надёжности почвообрабатывающей техники, по данным испытаний машинно-испытательных станций, показывает, что из общего числа отказов около 40 % приходится на ПРЭ [7]. Особенно низкой является наработка на отказ лемехов, сменных грунтовок отвала и полевых досок. Коэффициент готовности плугов находится в пределах 0,93—0,98. Почворежущие элементы серийного производства имеют фактическую наработку почти в 2 раза меньше нормативной.

Износ деталей является основной формой физического старения машины. Он сопровождается изменением размеров, формы и состояния рабочих поверхностей, ухудшением функциональных качеств, уменьшением прочности деталей и др. Мировой опыт производства показал, что для изготовления стабильно востребованных сменных деталей рабочих органов машин должны постоянно применяться самые совершенные наукоёмкие технологии. Только такие подходы обеспечивают ведущим производителям запасных частей способность сохранять конкурентоспособность, а также занимать доминирующее положение на рынке. Передовые позиции на рынке принадлежат компаниям Kverneland, Rabe, Kuhn, Vogel & Noot и др. Данные машиностроительные фирмы в самом конце прошлого века

разработали новые специальные методы термической обработки деталей, что позволило им обеспечить и в настоящее время высокое качество, надёжность изделий при сохранении сравнительно адекватной цены на свою технику, запчасти, комплектующие.

Широкую номенклатуру зарубежных навесных и полунавесных отвальных лемешных плугов для отвальной и гладкой вспашки к тракторам сельскохозяйственного назначения мощностью от 15 до 275 л. с. выпускают в основном следующие фирмы: в США и Канаде: John Deere, CaseIH, Harvester, Ford, Massey Ferguson; в Западной Европе: Eberhard, Rabewerk, Lemken — Германия; Huard, Ebra, Kuhn, Gregoire Besson — Франция; Ramsons, McConnel, Howard — Великобритания; Vogel & Noot — Австрия; в Скандинавии: Overums Bruk — Швеция, Kverneland — Норвегия, Fiskars — Финляндия.

Практически все фирмы отказались от прицепных плугов и перешли на навесные и полунавесные модели, как более экономичные по материалоёмкости и маневренности. Навесные плуги выпускаются с числом корпусов от 1 до 7, полунавесные — от 5 до 14. Средняя удельная масса на 1 м ширины захвата навесных и полунавесных оборотных плугов зависит от сложности конструкции, прямо пропорциональна числу корпусов и колеблется от 350 до 850 кг. Аналогичные параметры у оборотных плугов почти в два раза выше.

Фирмы США и Канады выпускают преимущественно навесные и полунавесные многокорпусные плуги для свально-развальной вспашки. Оборотные плуги в этих странах менее распространены из-за сравнительно больших размеров фермерских хозяйств, на которых эффективнее работают широкозахватные плуги общего назначения.

В Западной Европе производятся преимущественно оборотные навесные и полунавесные плуги с числом корпусов от 2 до 8, т. к. средний размер фермерских хозяйств не превышает 50—100 га. Наиболее распространены трёх- и четырёхкорпусные орудия с шириной захвата 1,05—2,4 м — 80—90 % общего объёма выпуска. В Скандинавских странах используются преимущественно полунавесные оборотные модели с числом от 4 до 8 корпусов.

Многочисленные сравнительные испытания показали, что отечественные конструкции плугов не уступают зарубежным по основным агротехническим показателям: крошению почвы, заделке растительных остатков, устойчивости хода по глубине обработки и ширине захвата. Однако они проигрывают по материалоёмкости, энергозатратам, надёжности и соответствию зональным требованиям. Сравнение технического уровня отечественных и зарубежных плугов позволяет сделать следующие выводы [12]:

1. Совершенно недостаточна номенклатура отечественных навесных и полунавесных отвально-лемешных плугов как для тракторов малой мощности, так и энергонасыщенных.
2. Практически не выпускаются многокорпусные оборотные плуги для гладкой вспашки, за исключением двух- и трёхкорпусных навесных.
3. Многокорпусные плуги не оснащаются предохранителями корпусов даже для работы на каменистых почвах, что резко снижает их надёжность.

4. Номенклатура сменных плужных корпусов ограничена. Имеются плуги лишь с культурными и полувинтовыми отвалами, что не обеспечивает универсальности их применения в различных почвенно-климатических зонах.

5. По удельному сопротивлению и расходу топлива отечественные плуги на 10—15 % уступают зарубежным аналогам.

Анализ уровня надёжности отечественных плугов показывает, что общее число отказов, в т. ч. и дефектов производственного характера, остаётся высоким. Главная причина дефектов — неудовлетворительное качество изготовления, почти 70 % общего числа отказов. Характерные причины отказов: некачественная сварка, дефекты термообработки, отклонения от чертёжных размеров деталей и марок материалов, низкое качество изготовления [12].

Серьёзный недостаток отечественных плугов — высокая трудоёмкость ежесменного технического обслуживания, вызванная в основном проверкой и подтяжкой болтовых креплений, которые из-за низкого качества материалов тянутся, а из-за отсутствия антикоррозионного покрытия ржавеют и трудно отворачиваются. Кроме того, приходится периодически смазывать подшипники опорных колёс и дисковых ножей. Всё это приводит к значительному снижению сменной эксплуатационной производительности.

Абразивный износ рабочих органов почвообрабатывающих машин зависит не только от свойств материала, из которого они изготовлены, но и от механического состава почвы, главным образом, от содержания физического песка [13].

По критерию абразивного износа почвы делятся на три группы:

1) с малой изнашивающей способностью, содержащие до 80 % физического песка (глинистые и суглинистые почвы);

2) супесчаные, со средним абразивным износом, содержащие от 80 до 95 % физического песка и незначительное количество каменистых включений;

3) песчаные, содержащие от 95 до 100 % физического песка с большим количеством каменистых включений и обладающие значительным абразивным износом.

Максимальный абразивный износ лемехов при вспашке 1 га на почвах первой группы составляет 2—30 г, на почвах второй — 30—100 г и на почвах третьей — 100—450 г.

Глинистая почва при высыхании образует прочную корку, для разрушения которой необходимо большое усилие. На песчаной почве разница в распределении давлений почти незаметна. С увеличением твёрдости почвы давление на рабочий орган возрастает прямо пропорционально. Также интенсивность изнашивания деталей рабочих органов сельхозмашин зависит от физико-механических свойств почв — липкости, твёрдости, сопротивления сдвигу, разрыва, коэффициентов трения и влажности. Так, при пахоте супесчаных почв влажностью 2,8—4,0 % лемехи, в основном, изнашиваются по ширине, а влажностью 9,4—12,0 % — по толщине в носовой части [12].

## 2.2. Краткий обзор некоторых современных зарубежных технологий изготовления деталей

Ведущие фирмы-производители деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин выпускают широкий набор сменных изделий нового поколения: лемех, отвал, долото, полевая доска, диски борон, ножи измельчающих аппаратов кормоуборочных машин, ножи косилок, сегментные ножи кукурузных жаток, копачи и отрезающие ножи ботвы свеклоуборочных комбайнов, оборотные лапы и зубья культиваторов с активными рабочими органами, стрелчатые лапы, лапы глубоких рыхлителей и др. Все они характеризуются высокими физико-механическими свойствами и показателями работоспособности. Конкурентоспособность изделий обеспечивается наукоёмкими технологиями обработки соответствующего стального проката.

Высокие показатели надёжности деталей достигаются разработкой и реализацией западноевропейскими фирмами наукоёмких технологий: Conit — Kverneland (Норвегия); Triplex и Dreilagen material — Huard (Франция); Rabid — Rabewerk (Германия); Rabe (Венгрия). Применяются лазерные и плазменные способы упрочнения деталей в сочетании со специальными процессами термической обработки, а также новые материалы, так, например, Permanit — Vogel & Noot (Австрия).

Изделия, полученные с применением технологий Conit и Triplex, обладают высокой конкурентоспособностью и наиболее соответствуют ударно-абразивным условиям эксплуатации. Отличительной особенностью этих изделий является трёхслойное поперечное сечение, т. н. «диссипативное (градиентное) структурное строение». Поверхностные слои изделий имеют твёрдость до 67 ИКС и высокую прочность — 1200—1800 МПа. При этом сравнительно пластичная сердцевина обеспечивает повышенную ударную вязкость изделий. Названные технологии являются интеллектуальной собственностью разработчиков [14], [15].

Преимуществами используемых технологий и материалов для производства деталей являются низкое содержание дорогостоящих легирующих элементов, хорошая закаляемость, детали обладают достаточной ударной вязкостью, простая и недорогая термообработка, малая чувствительность к появлению закалочных трещин и короблению, хорошая комбинация ударной вязкости и прочности.

Сменные ДРОМ для почвообрабатывающей, посевной и кормоуборочной техники не являются унифицированными изделиями. Производители машин (плугов, дисковых борон, почвообрабатывающе-посевных агрегатов, косилок, свеклоуборочных и кормоуборочных комбайнов) разрабатывают и поставляют сменные детали, отличающиеся преимущественно крепёжной частью, что исключает их применение на аналогичных рабочих органах. Следует отметить, что в практике использования сменных ДРОМ находит предложение поставщиков о снабжении потребителей изделиями оригинального и неоригинального исполнения. Данные изделия являются взаимозаменяемыми. Отличительными характеристиками при этом являются материалы и технологии изготовления сменных ДРОМ. Детали оригинального исполнения поставляются от разработчика-изготовителя изделий. При этом гарантируются их потребительские свойства. Детали потребительского исполнения, как правило, имеют на 20—

30 % меньший ресурс по отношению к оригинальным изделиям. Это связано с тем, что технологии упрочнения деталей являются интеллектуальной собственностью разработчиков и не передаются конкурентам [16—18].

Многолетние наблюдения за использованием сменных ДРОМ, поставляемых западноевропейскими фирмами-производителями изделий оригинального исполнения, свидетельствуют о сравнительно высоком качестве продукции. Эти обстоятельства являются определяющими в устойчивом сохранении рынка сбыта.

Зарубежные фирмы-производители изготавливают сменные детали кормоуборочных машин с использованием низколегированных среднеуглеродистых сталей (аналог в СНГ — сталь 38ХМ). Для упрочнения деталей используются лазерная наплавка, плазменная наплавка, высокочастотная закалка. Эти изделия характеризуются высокой работоспособностью и обладают коммерческой перспективой.

### **3. Состояние и анализ проблемы**

#### *3.1. Методика сравнительной оценки технического уровня деталей рабочих органов сельскохозяйственной техники*

При разработке деталей рабочих органов отечественной сельскохозяйственной техники необходимо учитывать влияние материаловедческих, триботехнических, конструкторских, технологических, эксплуатационных и экономических факторов, что позволит повысить конкурентоспособность изделий на мировом рынке [6].

В этой связи требуется развитие методов оценки и сопоставительного анализа технического уровня отечественной и зарубежной техники. Привлечение информационных ресурсов при разработке новых машин или усовершенствовании ДРОМ способствует своевременному исправлению ошибок и обходится значительно дешевле, чем при испытаниях и эксплуатации.

Известен ряд методических подходов к оценке технического уровня машин [12], [19], [20], [21], [22]. Большинство из них основаны на сопоставлении единичных показателей разрабатываемого образца и лучших аналогов.

Решение проблемы создания конкурентоспособной металлопродукции на данном этапе заключается в освоении нанотехнологии. Технологии производства, в т. ч. и технологии изготовления сменных деталей рабочих органов сельхозтехники, должны обеспечивать формирование мелкозернистой структуры.

Получение такой структуры всегда представляло собой сложную научно-техническую задачу. В наши дни решение такой проблемы просматривается в развивающейся индустрии наносистем, обеспечивающих приоритетные преимущества производимой продукции: качество, низкая себестоимость, высокая производительность труда.

Такой качественный прорыв в области производства конкурентоспособных сменных деталей рабочих органов сельхозмашин обеспечит опыт применения сталей пониженной прокаливаемости.

К настоящему времени созданы и проверены в производственных условиях отечественные материалы и технологии упрочнения различных по конструкции быстроизнашивающихся сменных деталей рабочих органов сельхозтехники. Изготовленные с их применением изделия имеют высокий технический уровень, сопоставимый с лучшими зарубежным аналогами [23].

Выполненные в последние годы комплексные НИОКР с участием учёных и специалистов ГНУ «ИПМ», УО «БГАТУ и ГНУ «ФТИ» и разработанные ими технологические основы получения нанокomпозиционного строения поперечного сечения изделий послужили получению субмикро- и нанокристаллической структуры деталей. Это позволило придать им целый ряд свойств, которые невозможно получить в материалах с традиционно поликристаллической структурой. Внешние поверхности трения таких изделий имеют фрагментированную дисперсную структуру; мартенсита, обладающую комплексом высоких механических свойств: твёрдость около 60 HRC, прочность не менее 2000 МПа, ударная вязкость свыше 1 МДж/м<sup>2</sup>, коэффициент относительной абразивной износостойкости не менее 3,0—3,5. Эти показатели являются основными критериями, характеризующими работоспособность деталей рабочих органов почвообрабатывающих, посевных и кормоуборочных машин, что подтверждено в ходе приёмочных испытаний изделий. В настоящее время имеется реальная возможность осуществления отечественного производства деталей рабочих органов машин, конкурентоспособных на внутреннем и внешнем рынках, через его технологическую модернизацию.

На основании научных публикаций последнего десятилетия по проблемам нанотрибологии [24] и материаловедения [25—27] можно заключить, что для повышения работоспособности металлических материалов, обеспечения достаточной надёжности и долговечности сменных деталей машин необходимы следующие шаги:

1. Взять за основу в разработке новых упрочняющих технологий структурную теорию конструкционной прочности материалов и её главный вывод об эффективных дислокационных моделях упрочнения.

2. Активизировать дислокационную модель упрочнения, создавая дисперсные избыточные фазы нанометрового размера с равномерным распределением в объёме ультрамелких (~ 1 мкм) зёрен матрицы сплава.

3. При разработке новых упрочняющих технологий стремиться получать ультрамелкое зерно (~ 1 мкм) матрицы сплава, реализуя дислокационную модель упрочнения, но не переходить при этом опасную зону снижения вязкости.

### *3.2. Краткое описание некоторых производственно-апробированных и экологически безопасных технологий по изготовлению лемехов и долот, разработанных УО «БГАТУ»*

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет» является разработчиком технологий производства лемехов и оборотных долот плугов. Происходит освоение отечественного производства оригинальных, конкурентоспособных и взаимозаменяемых оборотных долот плугов с импортными Kverneland для использования на

корпусах № 9 тракторных плугов, а также лемехов нового поколения к корпусам тракторных плугов типа ППО 5-40 и других при ресурсе всех изделий в 50 га, обладающих комплексом высоких механических свойств: твёрдость около 56—60 HRC, прочность не менее 1500—2000 МПа, ударная вязкость свыше 1 МДж/м<sup>2</sup>. Ресурс оборотных долот отечественного производства равнозначен оригинальным импортным аналогам. Стоимость одного комплекта оборотных долот отечественного производства на 25—30 % ниже стоимости импортных изделий, стоимость лемехов нового поколения проектно не превышает стоимости оригинальных изделий производства Kverneland, а при серийном выпуске ожидается значительное снижение себестоимости их производства. Данные технологии продолжают активно внедряться рядом белорусских предприятий в рамках своих производственных мощностей: ОАО «Минойтовский ремонтный завод», ОАО «Минский завод шестерён», ОАО «Минский тракторный завод» и другие. При производстве лемехов и оборотных долот плугов применяются наукоёмкие технологии с использованием проката из стали 60ПП и специальной термической обработки.

### *3.3. Экономические аспекты и обоснования импортозамещающей производственной программы по выпуску долот и лемехов корпусных плугов*

Проведём анализ технической оснащённости агрегатами по обработке почвы, в частности, плугами тракторными отечественного и импортного производства за последние 12 лет (таблица 1).

Из анализа данных таблицы 1 видно, что сокращение общего количества отвальных тракторных плугов в сельхозорганизациях Республики Беларусь за 2006—2017 гг. уменьшилось на 46,7 %, что объясняется изменением структурного состава парка плугов, прежде всего, увеличением доли более производительных и многокорпусных оборотных плугов. Так, сложившаяся на 2017 г. структура парка плугов следующая: 8—9-корпусные — 43 %; 5—7-корпусные — 12,5 %; четырёхкорпусные — 29,5 %; прочие — 15 %. В 2006 г. соответственно: 7—9-корпусные — 12,9 %; 4—6-корпусные — 39,8 %; прочие — 47,3 %. Следует отметить, что количество корпусных оборотных плугов выросло к 2017 г. на 85 % по сравнению с 2006 г., соответственно возросла нагрузка пашни на один плуг в 1,8 раза, что составило 578 га против 331 га в 2006 г. Средняя величина годовой нагрузки пашни на один плуг в 580—600 га примерно составляет величину годовой нагрузки одного шестикорпусного оборотного плуга. Рост средней величины нагрузки на один физический плуг обусловлен более широким за последние годы использованием 8—9-корпусных оборотных высокопроизводительных плугов. Влияние на износостойкость отдельных элементов и деталей плуга оказывает не производительность вспашки за один час работы основного времени (га/ч.), а физический объём вспаханной площади почвы. Так, при наработке около 45—50 га основных рабочих элементов (деталей) плуга — лемеха и долота они изнашиваются и подлежат замене. Объёмы ежегодной обработки почвы тракторными плугами в целом по Республике Беларусь составляют около 4,9—5,1 млн га. Для обеспечения вспашки такого

объёма площадей ежегодная потребность в таких деталях, как лемех и долото, составляет порядка 100—105 тыс. шт. В связи с тем, что эти детали (лемех, долото) имеют небольшой рабочий ресурс и быстро изнашиваются, необходимо располагать объективными данными о техническом состоянии парка импортных плугов.

**Таблица 1.** Показатели обеспеченности сельского хозяйства Беларуси плугами тракторными за 2006—2017 гг.

| Показатели  | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2017<br>в %<br>к<br>2006 |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------------------|
| Всего плугов тракторных в сельхоз-организациях республики, тыс. шт. | 15,0 | 15,1 | 14,8 | 14,0 | 13,5 | 13,1 | 12,6 | 11,9 | 11,2 | 10,4 | 9,7  | 9,0  | 57,3                     |
| Приходится плугов на 100 тракторов, шт.                             | 28   | 29   | 29   | 29   | 28   | 28   | 27   | 26   | 25   | 22   | 22   | 22   | 78,6                     |
| Приходится плугов на 1000 га пашни, шт.                             | 3,2  | 3,1  | 3,1  | 3    | 2,8  | 2,7  | 2,6  | 2,5  | 2,2  | 2,2  | 1,9  | 1,7  | 53,1                     |
| Нагрузка пашни на 1 плуг, га  | 311  | 320  | 323  | 339  | 356  | 376  | 380  | 405  | 457  | 457  | 536  | 578  | 185,8                    |
| Производство плугов, шт.  | 1912 | 2730 | 1760 | 2221 | 2104 | 1976 | 2295 | 1757 | 1653 | 1251 | 1378 | 1037 | 54,2                     |
| Наличие плугов в Минской обл., шт.                                  | 3332 | 3406 | 3340 | 3216 | 2979 | 2935 | 2858 | 2688 | 2456 | 2248 | 2116 | 1949 | 58,5                     |

Примечание: составлено и рассчитано по данным статистических сборников «Сельское хозяйство РБ». 2011—2017; Ежегодники Минской области за 2014 и 2017 гг. [28].

Подробный анализ этих данных позволит обосновать производственную программу по изготовлению импортозамещающих деталей в целях экономии валютных средств. Следует отметить, что в 2017 г. количество импортных плугов уменьшилось в 5,4 раза по сравнению с 2006 г., а удельный вес импортных в общем парке плугов составляет 3,5 % и насчитывает в количественном выражении около 320 ед. всего по республике, из них 74 % — это плуги производства компании Lemken. В Минской области парк импортных плугов составляет 62 ед. [5]. При обосновании производственной программы необходимо учитывать ситуацию по поступлению и выбытию плугов в сельскохозяйственных организациях (таблица 2).

**Таблица 2.** Поступление и выбытие плугов тракторных в сельском хозяйстве Беларуси за 2006—2017 гг.

| Год, период |           | Тыс. шт. | Превышение выбытия над поступлением, тыс. шт. |
|-------------|-----------|----------|---|
| 2006        | поступило | 1,8      | 0,1   |
|             | выбыло    | 1,9      |   |
| 2007        | поступило | 1,4      | 0,5   |
|             | выбыло    | 1,9      |   |
| 2008        | поступило | 1,1      | 0,9   |
|             | выбыло    | 2,0      |   |
| 2009        | поступило | 1,2      | 0,5   |
|             | выбыло    | 1,7      |   |
| 2010        | поступило | 1,32     | 0,4   |
|             | выбыло    | 1,72     |   |
| 2011        | поступило | 0,8      | 0,4   |
|             | выбыло    | 1,2      |   |
| 2012        | поступило | 0,3      | 0,8   |
|             | выбыло    | 1,1      |   |
| 2013        | поступило | 0,28     | 0,79  |
|             | выбыло    | 1,07     |   |
| 2014        | поступило | 0,26     | 0,84  |
|             | выбыло    | 1,1      |   |
| 2015        | поступило | 0,27     | 0,64  |
|             | выбыло    | 0,91     |   |
| 2016        | поступило | 0,36     | 0,7   |
|             | выбыло    | 1,06     |   |
| 2017        | поступило | 0,41     | 0,56  |
|             | выбыло    | 0,97     |   |
| 2006—2017   | поступило | 9,5      | 7,13  |
|             | выбыло    | 16,63    |   |

За период 2006—2017 гг. выбытие (списание) плугов превысило поступление на 75 %. При сохранении подобной тенденции в превышении выбытия плугов над поступлением в сельхозорганизации Беларуси в ближайшее время (около трёх лет) импортные плуги могут вообще исчезнуть с полей республики. Исходя из этого, при внедрении мероприятий проекта по производству импортозамещающих запасных частей к плугам следует руководствоваться принципами высокой технологичности производства и экономической эффективности всех производственных процессов, обеспечивающих ускоренную окупаемость проекта — не более 2,5 лет [5].

Потребность в запасных частях для плугов можно определить исходя из общего количества импортных плугов, годовой нагрузки пашни на один плуг и нормативной наработки на соответствующую деталь плуга. Из анализа эксплуатации импортных плугов в филиале ОАО Климовичский КХП «Приграничный» Климовичского района Могилёвской области установлено, что например, нагрузка пашни на один восьмикорпусный плуг производства компании Lemken составила 803 га, а в целом нагрузка пашни на один импортный плуг на 20—24 % выше по сравнению с общей средней нагрузкой по Беларуси. На основе вышеизложенного предлагается определять годовую потребность в запасных частях (деталях) для формирования производственной программы по следующей формуле:

$$P = N * K_{уд} * \frac{H_m}{H_g}, \quad (1)$$

где  $P$  — годовая потребность в запасных частях, шт.;  $N$  — общее количество импортных плугов, шт.;  $K_{уд}$  — удельный вес плугов зарубежного производителя;  $H_m$  — годовая нагрузка пашни на 1 плуг, га;  $H_g$  — нормативная нагрузка на деталь, га.

Приведём пример расчёта в потребности лемехов и долот для плугов производства компании Lemken на 2018 г. Исходные данные: общее количество импортных плугов — 320 ед.; удельный вес плугов производства компании Lemken от общего количества — 74 %; среднегодовая нагрузка пашни на 1 импортный плуг в 2017 г. составила 781 га; нормативная нагрузка на лемех и долото — 50 га. Подставим значения в формулу (1) и получим результат для включения в производственную программу изготовления импортозамещающих деталей, в частности лемехов и долот для плугов: ( $P = 320 * 0,74 * \frac{781}{50} = 3699$  ед.).

Поэтому в целях обеспечения лемехами и долотами имеющегося парка плугов производства компании Lemken необходимо изготовить по 3700 ед. каждой из запчастей. Аналогично определяется потребность необходимого количества деталей для плугов фирмы Kverneland и других зарубежных компаний. Проведенные расчёты показывают ( $P = 320 * 0,26 * \frac{769}{50} = 1280$  ед.), что требуется изготовить по 1280 ед. каждого изделия (лемехов и долот). Следовательно, годовая потребность в лемехах и долотах для обеспечения ремонта импортных плугов составляет (3700 + 1280), или примерно 5000 ед. каждого изделия. При этом ставится задача по достижению ресурса наработки изготавливаемых деталей не ниже импортных аналогов за счёт внедрения новых технологических процессов по упрочнению производимых запчастей. Производственный цикл изготовления любого изделия

характеризуется его длительностью и структурой. Эффективность организации производства во многом зависит от длительности производственного цикла, поэтому необходимо его всемерно сокращать, но не в ущерб качеству производимой продукции. Структура производственного цикла складывается из двух основных элементов — времени производства и перерывов в работе. В период производства осуществляются необходимые технологические процессы, работы подготовительного и заключительного характера, транспортные, контрольные операции и естественные процессы (остывание изделий на воздухе и т. п.). Перерывы в работе подразделяются на межоперационные и междусменные. Для определения длительности производственного цикла поэтапно производятся расчёты длительности операционного цикла, технологического и производственного циклов изготовления изделий [5]. Длительность операционного цикла изготовления партии деталей определим по следующей формуле:

$$T_{оп} = nt_{шт} + t_{пз}, \quad (2)$$

где  $T_{оп}$  — длительность операционного цикла;  $n$  — число деталей в партии, шт.;  $t_{шт}$  — норма штучного времени на обработку одной детали;  $t_{пз}$  — подготовительно-заключительное время.

Проведенные расчёты показали, что суммарное время на выполнение всех технологических операций составляет в среднем на один лемех 6 мин. и 5 мин. — на долото. Операционный цикл совместно со временем естественных процессов образует технологический цикл.

Технологический цикл совместно со временем перерывов образует производственный цикл изготовления изделий и рассчитывается:

$$T_y = T_{оп} + T_e + T_{пер}, \quad (3)$$

где  $T_y$  — производственный цикл изготовления изделий;  $T_e$  — время естественных технологических процессов;  $T_{пер}$  — время перерывов.

На основании расчётов по проекту производственного процесса изготовления изделий (лемеха и долота) длительность цикла производства составляет для лемехов 43—48 мин. и долот — 39—44 мин.

Учитывая степень одновременности выполнения смежных операций, данный проект по изготовлению и упрочнению лемеха и долота следует отнести к последовательному движению деталей по выполняемым операциям, входящим в этот процесс. Производственный цикл многооперационного процесса, состоящего из  $m$  операций, при последовательном движении равен сумме однооперационных циклов, времени межоперационных перерывов и естественных процессов и определяется по формуле

$$T_{y(пос)} = n \sum_{i=1}^m \frac{t_i}{B_i} + m_o t_{мо} + T_e, \quad (4)$$

где  $T_{y(пос)}$  — производственный цикл изготовления изделий при последовательном движении;  $t_i$  — норма времени на  $i$ -й операции;  $B_i$  — количество оборудования на  $i$ -й операции;  $m_o$  —

число межоперационных перерывов;  $t_{mo}$  — средняя длительность межоперационных перерывов.

Последовательное движение изделий применяется при относительно небольших партиях и невысокой трудоёмкости операций. Исходя из технологического процесса изготовления запасных частей для импортных плугов определены оптимальные величины (число) изделий в партии. Так, для изготовления лемехов формируется оптимальная партия, где число изделий в партии колеблется от 10 до 35 ед., соответственно партия долот — от 12 до 40 ед.

На территории Республики Беларусь в 2017 г. официальными поставщиками запасных частей к импортной технике выступали 15 компаний. Что касается непосредственно техники производства фирмами Lemken и Kverneland, то таких организаций было заявлено 12, но основными поставщиками различных запчастей именно к тракторным плугам были следующие: компания «Полымя Агро», РО «Белагросервис», ООО «Штотц Техно-Сервис», СООО «Мирисан», группа компаний «Крестьянский дом», ООО «Партнер агрария», ООО «Промис Альянс», ИООО «Мегакорп», ООО «Велес-Торг», а две из перечисленных (РО «Белагросервис», компания «Полымя Агро») имели более 80 % рынка от всех лемехов и долот для плугов Lemken и Kverneland. При всём этом цены на одни и те же изделия имеют значительные колебания (в разы) у упомянутых дилеров. Например, предлагаемые цены моделей лемехов плуга Lemken на два и три крепёжных болта варьируется от 34 до 82 руб. за единицу. Разница в цене зависит от конструктивных и технологических особенностей производства данных деталей. Так, цена лемеха производства компании Lemken, изготовленного по собственной запатентованной оригинальной технологии, составляет 79 руб., а изготовление аналогичного лемеха с такими же качественными параметрами в условиях имеющихся отечественных производств — от 42 до 55 руб. за единицу. На основе проведённого анализа установлено, что доля приобретённых отечественными сельхозпроизводителями оригинальных лемехов составила порядка 67 % от всех закупленных. При этом средняя покупная цена в 2017 г. импортных лемехов различных марок и производителей, приобретённых сельхозорганизациями республики, составила примерно 72 руб. за единицу [5].

Экономическую эффективность производства импортозамещающих деталей (лемехов и долот) осуществили путём сопоставления цен на аналогичные изделия зарубежного и отечественного производителя. При этом ресурс износостойкости деталей отечественного производителя находится в тех же пределах, что и деталей зарубежного производства. Расчёт экономической эффективности произведём по следующей формуле:

$$\mathcal{E} = (C_{из} - C_{оп}) * P, \quad (5)$$

где  $\mathcal{E}$  — экономическая эффективность производства импортозамещающих деталей, руб.;  $C_{из}$  — цена импортного изделия, руб.;  $C_{оп}$  — цена изделия отечественного производителя, руб.;  $P$  — годовая программа изготовления деталей, шт.

Цену на изделия отечественного производителя ( $C_{оп}$ ) можно рассчитать по формуле

$$C_{\text{оп}} = \left( C + \frac{K * E_n}{P} \right) * K_{\text{пн}} * K_{\text{ндс}}, \quad (6)$$

где  $C$  — себестоимость изделия (сумма затрат: транспортно-заготовительные; основные и вспомогательные материалы; стоимость электроэнергии; заработная плата с начислениями; амортизация; накладные и прочие расходы), руб.;  $K$  — капитальные вложения (стоимость оборудования, монтаж и пусконаладочные работы), руб.;  $E_n$  — нормативный коэффициент эффективности (0,12);  $K_{\text{пн}}$  — коэффициент плановых накоплений (1,15);  $K_{\text{ндс}}$  — коэффициент НДС (1,2).

Для определения цены на лемех отечественного производства подставим расчётные данные в формулу (6):

$$\left( 27,8 + \frac{407000 * 0,12}{5000} \right) * 1,15 * 1,2 = 51,84 \text{ руб.}$$

Следовательно, экономический эффект составит:

$$(72 - 51,84) * 5000 = 100800 \text{ руб.}$$

Аналогичным образом произведены расчёты по производству долота, где экономический эффект составил 79700 руб. Суммарный экономический эффект производства импортозамещающих деталей (лемеха и долота) составляет 180,5 тыс. руб. (100800 + 79700), или 84,6 тыс. дол. США (курс Национального банка Беларуси на 10.12.2018 г. 1 дол. США = 2,133 бел. руб.). Трудоёмкость изготовления одного лемеха, согласно техпроцессу, составляет 6 мин., а долота — 5 мин. Суммарная годовая трудоёмкость составит 917 чел.-ч. (5000 ед. \* 11 мин. / 60), при этом технологическое оборудование будет загружено на 45 % (917 / 2015 = 0,45).

Срок окупаемости проекта составит 2,2 года ( $\frac{K}{S} = \frac{407000}{180500}$ ) при годовой загрузке производственной линии на 45 %, при достижении загрузки оборудования, близкого к 100 %, срок окупаемости проекта составит менее года [5].

#### 4. Заключение и выводы

Ежегодный расход сменных деталей и экономические потери от изнашивания рабочих органов машин колоссальны. Основными причинами такого положения являются несоответствие конструкций, технологии и материала деталей условиям их работы.

Освоение в производственных условиях технологий получения сменных деталей рабочих органов сельскохозяйственной техники позволит обеспечивать сельхозпроизводителей изделиями собственного производства (взамен приобретения по импорту), по техническому уровню не уступающими лучшим мировым аналогам. Основу технических решений изготовления ДРОМ составляет системный анализ и комплексный подход, учитывающий показатели металлургического, материаловедческого, конструкторского, технологического, триботехнического, экологического, эксплуатационного и экономического факторов.

Приведённые элементы методики сравнительной оценки технического уровня ДРОМ с учётом этих факторов позволяют осуществлять проверку конкурентоспособности изделий на мировом рынке. Традиционно применяемые материалы и технологии изготовления ДРОМ достигли своего предела конструкционной прочности и износостойкости и требуют замены.

Обоснованы основные критерии работоспособности ДРОМ, к числу которых отнесены: конструкционная прочность, твёрдость, ударная вязкость, пластичность и конструкционная износостойкость. Их обеспечение реализуется при получении композиционного старения поперечного сечения изделий, характеризуемого суб-, микро- и нанокристаллической структурой. Внешние поверхности трения таких деталей имеют фрагментированную дисперсную структуру мартенсита, обладающего комплексом высоких механических свойств: твёрдость около 60 НКС; прочность не менее 2000 МПа; ударная вязкость свыше 1 мДж/м<sup>2</sup>; коэффициент относительной абразивной износостойкости не менее 3,0—3,5.

Для изготовления ДРОМ разработаны отечественные технологии, позволяющие перейти на производство этих изделий предприятиями ОАО «Белагромаш» и РО «Белагросервис» по ресурсу, равнозначному для импортных деталей. Технологии изготовления ДРОМ нового поколения являются экологически чистыми и защищены патентами. Для их производства используются конструкционные стали, выпускаемые металлургическими заводами СНГ.

К числу технологических решений относятся: технология импульсного закалочного охлаждения жидкостью с печного или индукционного нагрева; технология формообразования лезвийной части термопластической обработкой на станах продольной и поперечной прокатки; технология отпуска при индукционном нагреве; плазменные (закалка, модифицирование, наплавка) и лазерные (закалка, модифицирование, наплавка) технологии; технология диффузионного намораживания износостойкими сплавами. Перечисленные технологии являются высокопроизводительными, экологически чистыми и отвечают требованиям по энерго- и ресурсосбережению. Они являются базовыми при изготовлении ДРОМ.

Решение практических вопросов по применению отечественной технологии изготовления ДРОМ нового поколения, направленных на инновационный путь развития современного производства изделий на основе избранных приоритетов, базируется на потенциале сотрудничества научных коллективов с заводами-изготовителями и обеспечивает приоритетные преимущества и конкурентоспособность производимой продукции: качество, высокая производительность труда; экономическая эффективность. Разработанные технологии производства ДРОМ в ближайшие 10—15 лет гарантированно будут конкурентоспособными и способны обладать коммерческой перспективой.

Созданные технологии производства конкурентоспособных ДРОМ направлены на радикальное повышение эксплуатационных свойств изделий. Как подтверждают результаты исследований на всех этапах разработки (выбор материала, получение заготовок, эксплуатационные испытания, приёмочные испытания на объектах аккредитованного центра

ГУ «БелМИС», испытания на твёрдость, изгиб, ударный изгиб, вязкость разрушения, износостойкость и другие), обеспечиваются высокие показатели ресурса изделий.

Ведущая роль в освоении и выпуске ДРОМ нового поколения принадлежит машиностроительным предприятиям: РУП «Минский завод шестерён» (освоение изготовления долот, грудей отвалов, лемехов, полевых досок); РУП «Кузнечный завод тяжёлых штамповок» (изготовление лево- и правостороннего лемеха); ОАО «Брестский электромеханический завод» (изготовление дисков к агрегатам типа АППМ-4, сменных ножей глубокорыхлителя ГР-70 и других изделий); ДП «Минойтовский РЗ» (изготовление оборотных долот); ОАО «Дрогичинский ТРЗ» (изготовление долот, лемехов и других изделий) [12].

За 2016 г. Республикой Беларусь было экспортировано 819 плугов на сумму 281,4 тыс. дол. США, в т. ч. в Российскую Федерацию 576 плугов (70 % от всего экспорта плугов) на сумму 229,1 тыс. дол. США. Из чего следует, что средняя цена одного белорусского экспортированного плуга в 2016 г. составила 344 дол. США, а плуга, экспортированного в Россию, — 398 дол. США.

Экономическая целесообразность организации собственного отечественного производства по изготовлению и упрочнению сменных деталей плугов (лемехов и долот) для находящихся в эксплуатации у белорусских аграриев импортных плугов не вызывает сомнения. Реализация данной импортозамещающей производственной программы принесёт экономию валютных средств, как минимум объёмом 85 тыс. дол. США.

## Список литературы

1. Ковалёв, И. Л. Проникновение инновационных технологий в АПК: отечественный опыт на фоне зарубежья / И. Л. Ковалёв // Достижения молодых учёных в развитии сельскохозяйственной науки и АПК: материалы VII междунар. научно-практич. конф. молодых учёных. — Астрахань: ФГБНУ «ПНИИАЗ», 2018. — С. 448—453.
2. Ковалёв, И. Л. Перспективы диджитализации производственного сектора АПК Белоруссии / И. Л. Ковалёв // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. — Москва: Сельхозиздат, 2018. — № 7. — С. 64—74.
3. Государственная программа развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016—2020 годы: утв. постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 196 от 11 марта 2016 г. // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. 26 марта 2016 г. № 5/41842.
4. Ковалёв, И. Л. Техническое перевооружение сельхозпроизводства Беларуси: сегодняшние проблемы и новые векторы развития / И. Л. Ковалёв // Resources and Technology. — 2018. — № 15 (1). — С. 39—64.
5. Анискович, Г. И. Экономическая эффективность импортозамещающего производства запасных частей для тракторных плугов / Г. И. Анискович, Л. И. Ковалёв, И. Л. Ковалёв // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. — 2018. — № 4. — С. 10—17.
6. Машиностроение: энциклопедия: в 40 т. — Т. IV—XVI. Сельскохозяйственные машины и оборудование / И. П. Ксеневич, Г. П. Варламов, Н. Н. Колчин [и др.]. — Москва: Машиностроение, 2002. — 720 с.

7. *Панов, И. М.* Технический уровень почвообрабатывающих и посевных машин / И. М. Панов, А. Н. Черепяхин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. — 2000. — № 9. — С. 10—12.
8. *Бетенья, Г. Ф.* Повышение долговечности почворежущих элементов сельскохозяйственной техники наплавкой намораживанием / Г. Ф. Бетенья. — Минск : БелНИИНТИ, 1986. — 44 с.
9. *Тененбаум, М. М.* Перспективы использования передовых методов снижения износа в сельскохозяйственном машиностроении: обзорная информ. / М. М. Тененбаум [и др.] // Технология и автоматизация производства. — Сер. 3, вып. 8. — Москва : ЦНИИТЭИ Тракторсельхозмаш, 1988. — С. 120—127.
10. *Лившиц, Л. С.* Основы легирования наплавленного металла / Л. С. Лившиц, Н. А. Гринберг, Э. Г. Куркумели // Абразивный износ. — 1969. — С. 114—143.
11. Инновационные технологии, применяемые при изготовлении конкурентоспособных деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин / Г. Ф. Бетенья, Г. И. Анискович, В. С. Голубев, А. С. Давидович // Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК : доклады республ. научно-практич. конф. на 21-й Междунар. специализир. выставке «Белагро — 2011» (Минск, 9 июня 2011 г.) / [ред.: Н. А. Лабушев [и др.]; Белорусский государственный аграрный технический университет, Физико-технический институт НАН Беларуси. — Минск : БГАТУ, 2011. — С. 159—170.
12. Повышение работоспособности деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин / И. Н. Шило, Г. Ф. Бетенья, Л. А. Маринич, Г. И. Анискович, П. А. Дроздов [и др.] ; Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Белорусский государственный аграрный технический университет. — Минск : БГАТУ, 2010. — 319 с.
13. *Синеоков, Г. Н.* Теория и расчёт почвообрабатывающих машин / Г. Н. Синеоков, И. М. Панов. — Москва : Машиностроение, 1977. — 328 с.
14. *Conit, Rabid.* Entwicklungen mit Hochster Materialqualitat / Conit Rabid and Rabedur Rabewerk // Anbau — Drehpfluge. — 1994. — № 7.
15. Landmaschinenwelt «97/98». Technische Anbemingen, Vorbehalten, 1997.
16. LEMKEN GmbH & Co. KG [Электронный ресурс]. — URL: <https://lemken.com/en/soil-cultivation/ploughing/>.
17. Kverneland Plough Bodies. Excellent Ploughing Quality. [Электронный ресурс]. — URL: <https://download.kvernelandgroup.com/Media/Files/Brochure-Bodies-MRP.pdf>.
18. Grégoire Besson Russie. Plough innovations [Электронный ресурс]. — URL: <https://ru.gregoire-besson.com/ru/innovation/plough-innovations>.
19. *Андреанов, Ю. М.* Квалиметрические аспекты управления качеством новой техники / Ю. М. Андреанов, М. В. Лопатин. — Ленинград : Изд-во ЛГУ, 1983. — 288 с.
20. *Фомин, В. М.* Автоматизация и система оценки технического уровня продукции / В. М. Фомин, Г. Б. Онищенко, В. Л. Абламский, А. Е. Носенков // Стандарты и качество. — 1991. — № 2. — С. 35—39.
21. *Буклагин, Д. С.* Технический уровень сельскохозяйственной техники / Д. С. Буклагин. — Москва : НИИТЭИ-агропром, 1993. — 112 с.
22. *Шило, И. Н.* Ресурсосберегающие технологии сельскохозяйственного производства / И. Н. Шило, В. Н. Дашков. — Минск : БГАТУ, 2003. — 183 с.
23. *Бетенья, Г. Ф.* Инновационные технологии упрочнения сменных деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин / Г. Ф. Бетенья // Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК : материалы междунар. научно-практ. конф. (Минск, 4—6 июня 2014 г.). — Минск : БГАТУ, 2014. — Т. I. — С. 47—56.

24. *Тушинский, Л. И.* Проблемы нанотрибологии / Л. И. Тушинский // *Технология металлов*. — 2010. — № 6. — С. 26—35.
25. *Кудря, А. В.* Роль разномасштабных структур в обеспечении пластичности и вязкости структурно-неоднородных сталей / А. В. Кудря // *Металловедение и термическая обработка металлов*. — 2005. — № 5 (599). — С. 18—23.
26. *Тушинский, Л. И.* Структурная теория конструктивной прочности материалов / Л. И. Тушинский ; [редкол. А. С. Востриков [и др.]. — Новосибирск : НГТУ, 2004. — 399 с. (Серия «Монографии НГТУ»).
27. *Тушинский, Л. И.* Механические свойства наноструктурных материалов / Л. И. Тушинский // *Технология металлов*. — 2009. — № 2. — С. 26—33.
28. Официальный сайт Национального статистического комитета Республики Беларусь [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.belstat.gov.by/>.

## References

1. *Kovalyov, I. L.* Proniknovenie innovacionny`x tehnologij v APK: otechestvenny`j opy`t na fone zarubezh`ya / I. L. Kovalyov // *Dostizheniya molody`x uchyony`x v razvitiy sel`skoxozyajstvennoj nauki i APK : materialy` VII mezhdunar. nauchno-praktich. konf. molody`x uchyony`x*. — Astraxan` : FGBNU «PNIIAZ», 2018. — S. 448—453.
2. *Kovalyov, I. L.* Perspektivy` didzhitalizacii proizvodstvennogo sektora APK Belorussii / I. L. Kovalyov // *Sel`skoxozyajstvennaya texnika: obsluzhivanie i remont*. — Moskva : Sel`hozizdat, 2018. — № 7. — S. 64—74.
3. Gosudarstvennaya programma razvitiya agrarnogo biznesa v Respublike Belarus` na 2016—2020 gody` : utv. postanovleniem Soveta Ministrov Respubliki Belarus` № 196 ot 11 marta 2016 g. // Nacional`ny`j reestr pravovy`x aktov Respubliki Belarus`. 26 marta 2016 g. № 5/41842.
4. *Kovalyov, I. L.* Texnicheskoe perevooruzhenie sel`hozproduktstva Belarusi: segodnyashnie problemy` i novy`e vektory` razvitiya / I. L. Kovalyov // *Resources and Technology*. — 2018. — № 15 (1). — S. 39—64.
5. *Aniskovich, G. I.* E`konomicheskaya e`ffektivnost` importozameshhayushhego proizvodstva zapasny`x chastej dlya traktorny`x plugov / G. I. Aniskovich, L. I. Kovalyov, I. L. Kovalyov // *Sel`skoxozyajstvennaya texnika: obsluzhivanie i remont*. — 2018. — № 4. — S. 10—17.
6. Mashinostroenie : e`nciklopediya : v 40 t. — T. IV—XVI. Sel`skoxozyajstvenny`e mashiny` i oborudovanie / I. P. Ksenevich, G. P. Varlamov, N. N. Kolchin [i dr.]. — Moskva : Mashinostroenie, 2002. — 720 s.
7. *Panov, I. M.* Texnicheskij uroven` pochvoobrabaty`vayushhix i posevny`x mashin / I. M. Panov, A. N. Cherepaxin // *Traktory` i sel`skoxozyajstvenny`e mashiny`*. — 2000. — № 9. — S. 10—12.
8. *Betenya, G. F.* Povy`shenie dolgovechnosti pochvorezhushhix e`lementov sel`skoxozyajstvennoj texniki naplavkoj namorazhivaniem / G. F. Betenya. — Minsk : BelNIINTI, 1986. — 44 s.

9. *Tenenbaum, M. M.* Perspektivy` ispol`zovaniya peredovy`x metodov snizheniya iznosa v sel`skoxozyajstvennom mashinostroenii: obzornaya inform. / M. M. Tenenbaum [i dr.]. // *Texnologiya i avtomatizaciya proizvodstva.* — Ser. 3, vy`p. 8. — Moskva : CzNIITE`I Traktorosel`xozmash, 1988. — S. 120—127.
10. *Livshicz, L. S.* Osnovy` legirovaniya naplavlennogo metalla / L. S. Livshicz, N. A. Grinberg, E`. G. Kurkumeli // *Abrazivny`j iznos.* — 1969. — S. 114—143.
11. Innovacionny`e texnologii, primenyaemy`e pri izgotovlenii konkurentosposobny`x detalej rabochix organov sel`skoxozyajstvenny`x mashin / G. F. Betenya, G. I. Aniskovich, V. S. Golubev, A. S. Davidovich // *Sovremenny`e problemy` osvoeniya novoj texniki, texnologij, organizacii texnicheskogo servisa v APK : doklady` respubl. nauchno-praktich. konf. na 21-j Mezhdunar. specializir. vy`stavke «Belagro — 2011» (Minsk, 9 iyunya 2011 g.)* / [red.: N. A. Labushev [i dr.] ; Belorusskij gosudarstvenny`j agrarny`j texnicheskij universitet, Fiziko-texnicheskij institut NAN Belarusi. — Minsk : BGATU, 2011. — S. 159—170.
12. *Povy`shenie rabotosposobnosti detalej rabochix organov sel`skoxozyajstvenny`x mashin* / I. N. Shilo, G. F. Betenya, L. A. Marinich, G. I. Aniskovich, P. A. Drozdov [i dr.] ; Ministerstvo sel`skogo xozyajstva i prodovol`stviya Respubliki Belarus`, Belorusskij gosudarstvenny`j agrarny`j texnicheskij universitet. — Minsk : BGATU, 2010. — 319 s.
13. *Sineokov, G. N.* Teoriya i raschyot pochvoobrabaty`vayushhix mashin / G. N. Sineokov, I. M. Panov. — Moskva : Mashinostroenie, 1977. — 328 s.
14. *Conit, Rabid.* Entwicklungen mit Hochster Materialqualitat / Conit Rabid and Rabedur Rabewerk // *Anbau — Drehpfluge.* — 1994. — № 7.
15. *Landmaschinenwelt «97/98».* Technische Anbemingen, Vorbehalten, 1997.
16. LEMKEN GmbH & Co. KG [E`lektronny`j resurs]. — URL: <https://lemken.com/en/soil-cultivation/ploughing/>.
17. *Kverneland Plough Bodies. Excellent Ploughing Quality.* [E`lektronny`j resurs]. — URL: <https://download.kvernelandgroup.com/Media/Files/Brochure-Bodies-MRP.pdf>.
18. Grégoire Besson Russie. Plough innovations [E`lektronny`j resurs]. — URL: <https://ru.gregoire-besson.com/ru/innovation/plough-innovations>.
19. *Andrianov, Yu. M.* Kvalimetricheskie aspekty` upravleniya kachestvom novoj texniki / Yu. M. Andrianov, M. V. Lopatin. — Leningrad : Izd-vo LGU, 1983. — 288 s.
20. *Fomin, V. M.* Avtomatizaciya i sistema ocenki texnicheskogo urovnya produkcii / V. M. Fomin, G. B. Onishhenko, V. L. Ablamskij, A. E. Nosenkov // *Standarty` i kachestvo.* — 1991. — № 2. — S. 35—39.
21. *Buklagin, D. S.* Texnicheskij uroven` sel`skoxozyajstvennoj texniki / D. S. Buklagin. — Moskva : NIITE`I-agroprom, 1993. — 112 s.
22. *Shilo, I. N.* Resursosberegayushhie texnologii sel`skoxozyajstvennogo proizvodstva / I. N. Shilo, V. N. Dashkov. — Minsk : BGATU, 2003. — 183 s.
23. *Betenya, G. F.* Innovacionny`e texnologii uprochneniya smenny`x detalej rabochix organov sel`skoxozyajstvenny`x mashin / G. F. Betenya // *Sovremenny`e problemy` osvoeniya novoj texniki,*

texnologij, organizacii texnicheskogo servisa v APK : materialy` mezhdunar. nauchno-prakt. konf. (Minsk, 4—6 iyunya 2014 g.). — Minsk : BGATU, 2014. — T. I. — S. 47—56.

24. *Tushinskij, L. I.* Problemy` nanotribologii / L. I. Tushinskij // *Texnologiya metallov.* — 2010. — № 6. — S. 26—35.

25. *Kudrya, A. V.* Rol` raznomasshtabny`x struktur v obespechenii plastichnosti i vyazkosti strukturno-neodnorodny`x stalej / A. V. Kudrya // *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov.* — 2005. — № 5 (599). — S. 18—23.

26. *Tushinskij, L. I.* Strukturnaya teoriya konstruktivnoj prochnosti materialov / L. I. Tushinskij ; [redkol. A. S. Vostrikov [i dr.]. — Novosibirsk : NGTU, 2004. — 399 s. (Seriya «Monografii NGTU»).

27. *Tushinskij, L. I.* Mexanicheskie svojstva nanostrukturny`x materialov / L. I. Tushinskij // *Texnologiya metallov.* — 2009. — № 2. — S. 26—33.

28. Oficial`ny`j sajt Nacional`nogo statisticheskogo komiteta Respubliki Belarus` [E`lektronny`j resurs]. — URL: <http://www.belstat.gov.by/>.