

Научная статья
УДК 621.357
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-2-222-237>
EDN: SOUFGW



ОБОСНОВАНИЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОСАДОЧНЫХ МЕСТ ПОД ПОДШИПНИКИ ВАЛОВ ТРАНСМИССИИ ТРАНСПОРТА ЖЕЛЕЗО-ХРОМОВЫМИ ПОКРЫТИЯМИ

А.Н. Котомчин ✉, А.С. Янута, Е.Ю. Ляхов

Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко,
г. Тирасполь, Молдова

✉ ответственный автор
aleshka81@list.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. В процессе эксплуатации автомобилей и другого транспорта происходят изменения технического состояния деталей и узлов агрегатов. С увеличением наработки и пробегов интенсивность отказов возрастает, что приводит к потребности в поддержании техники в работоспособном состоянии путём качественного обслуживания и ремонта. Ремонт деталей выступает как способ продления службы техники путём замены или восстановления изношенных деталей. Известно, что из-за проблем качественного снабжения актуальность восстановления становится очевидной. Из-за возникающих проблем в качественных запасных частях восстановление выступает как способ преодоления выше названных проблем. Однако для целесообразности применения способа восстановления необходимо соблюдать определенные правила, а именно: затраты на ремонт не должны превышать 50% от стоимости новой детали и долговечность должна быть на уровне 80–100%. Поэтому в данной статье приведены результаты анализа нового способа восстановления деталей железо-хромовыми покрытиями, с целью поддержания техники в исправном состоянии.

Материалы и методы. При исследовании использовались литературные и другие источники информации для анализа способов по различным критериям – долговечности, себестоимости использования, износостойкости и другие показатели. Также на основании предварительного анализа был выбран один из перспективных – железохромовое покрытие. Произведены предварительные исследования влияния кислотности на производительность и качество покрытия.

Результаты. Полученные результаты изучения железохромового покрытия, полученного из исследуемого состава электролита с кислотностью 0,4–0,6, дал возможность получить покрытие с достаточно высокой микротвёрдостью (до 8500 МПа), выходом по току (до 40%) и скоростью осаждения (до 200 мкм/ч). Также получаемое покрытие было с небольшим количеством микротрещин, которые позволяли задерживать смазку с возможным увеличением износостойкости.

Обсуждение и заключение. В результате полученное покрытие обладает хорошими физико-механическими свойствами. Поэтому данный способ, возможно, будет использоваться для восстановления посадочных мест под подшипники валов трансмиссии, работающих при абразивном изнашивании.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: автомобили, запасные части, оригинальные детали, восстановление, долговечность, износостойкость, железохромовое покрытие, кислотность

БЛАГОДАРНОСТИ: благодарность рецензентам статьи.

Статья поступила в редакцию 15.01.2025; одобрена после рецензирования 12.02.2025; принята к публикации 17.04.2025.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Котомчин А.Н., Янута А.С., Ляхов Е.Ю. Обоснование восстановления посадочных мест под подшипники валов трансмиссии транспорта железо-хромовыми покрытиями // Вестник СибАДИ. 2025. Т. 22, № 1. С. 222–237. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-2-222-237>

© Котомчин А.Н., Янута А.С., Ляхов Е.Ю., 2025



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Original article
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-2-222-237>
EDN: SOUFGW

SUBSTANTIATING RESTORATION OF BEARINGS MOUNTING AREA IN TRANSPORT TRANSMISSION SHAFTS WITH IRON-CHROME COATINGS

Aleksei N. Kotomchin ✉, **Anton S. Januta**, **Evgenii Yiu. Lyakhov**
*Pridnestrovian State University, named after T.G. Shevchenko,
Tiraspol, Moldavia*
✉ corresponding author
aleshka81@list.ru

ABSTRACT

Introduction. During the operation of cars and other vehicles, the process of changing technical condition of parts and units takes place. With increased operation time and mileage, the failure rate increases, which leads to the problem of maintaining equipment in working condition through high-quality maintenance and repair. Parts repair has been a way to extend the service life of equipment by replacing or restoring the worn parts. Due to the problems of quality supply, the urgency of restoration becomes obvious. Numerous problems with high-quality spare parts cause the restoration as a way to overcome the above-mentioned problems. However, the restoration method should meet certain requirements, in particular, repair costs should not exceed 50% of the cost of a new part and durability should be at the level of 80-100% of the new part. Therefore, this article presents the results of research on a new method of restoring parts with iron-chromium coatings in order to maintain equipment in good condition.

Materials and methods. The investigation was based on literature analysis to study the restoration methods according to various criteria, such as durability, cost of use, wear resistance and other indicators. Also, based on a preliminary analysis, one of the promising methods was selected – iron-chromium coating. Preliminary research into the effect of acidity on the performance and quality of the coating has been carried out.

Results. The study of iron-chromium coating obtained from the composition of an electrolyte with 0.4-0.6 acidity has made it possible to obtain a coating with a sufficiently high microhardness (up to 8,500 MPa), current output (up to 40%) and deposition rate (up to 200 microns/hour). The resulting coating also has demonstrated a small number of microcracks, which made it possible to delay lubrication and provide increase in wear resistance.

Discussion and conclusion. As a result, the coating obtained has shown good physical and mechanical properties. Therefore, it will be possible to use this method to restore the mounting area of bearings in transmission shafts operating under abrasive wear.

KEYWORDS: cars, spare parts, original parts, restoration, durability, wear resistance, iron-chrome coating, acidity

THANKS. Thanks to the reviewers of the article.

The article was submitted: January 15, 2025; approved after reviewing: February 12, 2025; accepted for publication: April 17, 2025.

All authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation. Kotomchin A.I.N., Januta A.S., Lyakhov E.Y. Substantiating restoration of bearings mounting area in transport transmission shafts with iron-chrome coatings. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2025; 22 (2): 222-237. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-2-222-237>

© Kotomchin A.I.N., Januta A.S., Lyakhov E.Y., 2025



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

При проведении исследований ремонтного фонда техники, которая эксплуатируется предприятиями Приднестровья, выявлено, что наибольшее количество ресурсопределяющих деталей имеют износ в пределах от 0,05 до 0,5 мм. Для восстановления таких деталей рационально выбирать методы, обеспечивающие наименьшие затраты по материалам, высокую производительность процесса и минимальную последующую механическую обработку восстановленной поверхности. Рассмотренные наиболее широко используемые на практике способы восстановления изношенных поверхностей снижают ресурс деталей на 50% из-за неблагоприятного воздействия на структуру поверхностей или детали в целом¹ [1, 2, 3].

В процессе эксплуатации автомобилей, специализированного автотранспорта, дорожно-строительных машин и другой техники происходят различные этапы изменения технического состояния и надёжности. Известно [4, 5, 6], что с увеличением пробега надёжность снижается, это обусловлено действиями, возникающими в процессе работы механизмов и узлов, которые подвержены износам различного характера². Каждый автомобиль и другая техника в зависимости от своих характеристик и заложенной ещё заводом-изготовителем надёжности имеют свои предельные параметры, при которых может наступать отказ. Это обусловлено многими факторами, из которых выделим основные, влияющие на надёжность и работоспособность техники³ [7, 8, 9, 10, 11]:

1. Условия эксплуатации. Известно, что работа техники в более запыленных и тяжёлых дорожных условиях снижает ресурс высоконагруженных деталей узлов и агрегатов в 2–3 раза.

2. Использование качественных материалов изготовления и упрочнения деталей. Это является важным фактором, так как основная закладка надёжности узла, агрегата происходит при производстве (изготовлении) и если соблюдены все технические требования и характеристики, то деталь будет функционировать практически весь ресурс, который заложен для её работы. Кроме того, часто можно на рынке запасных частей встретить «контрафактные» не оригинальные детали, что приводит к снижению ресурса сопряжения и часто к потере работоспособности узлов или агрегатов в целом.

3. Восстановление деталей. В условиях мирового кризиса, санкционной политики некоторых государств и по другим причинам происходит разрыв связей между государствами, что, в свою очередь, нарушает снабжение качественными оригинальными запасными частями. Поэтому восстановление оригинальных деталей, которые ещё имеют достаточный ресурс, – важное экономическое значение. Также восстановление деталей даёт возможность сократить влияние на экологию в связи со снижением производства стали и другого металла, необходимого для производства новых деталей⁴.

Ввиду того что на современных автомобилях и технике многие детали, имеющие незначительный износ (до 0,1–0,5 мм) [12, 13, 14], могут приводить к потере работоспособности, при этом ресурс самой детали имеет достаточный запас. Поэтому восстановление становится актуальным и необходимым способом поддержания в работоспособном состоянии техники с соблюдением необходимых технико-экономических критериев, а именно ресурса после ремонта и себестоимости восстановления⁵ [13, 14]. Для того чтобы этого достичь необходимо разрабатывать и использовать технологии восстановления, отвечающие современным требованиям и имеющие техниче-

¹ Котомчин А.Н. Восстановление деталей автомобилей, работающих при гидроабразивном изнашивании электролитическим хромированием / А.Н. Котомчин, Е.Ю. Ляхов, В.А. Зорин. Тирасполь: Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко, 2024. 176 с. ISBN 978-9975-3610-8-8.

² Поляков А.П., Галушак Д.О. Оценка влияния надёжности автомобиля на формирование номенклатуры и количества запасных частей // Вісник СевНТУ. 2012. № 134. С. 83–85.

³ Скрыпников А.В. Современные ресурсосберегающие методы технического сервиса / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова. Саарбрюкен: LAP LAMBER, 2012. 105 с. ISBN 978-3-659-28194-5.

⁴ Зорин В.А. Анализ влияния качества запасных частей на долговечность строительных машин / В.А. Зорин, Д.В. Серегин // Техника и технология транспорта. 2019. № S(13). С. 30.

⁵ Павлишин С.Г. Обеспечение надёжности автомобилей КамАЗ в гарантийный период эксплуатации // Автотранспортное предприятие. 2015. № 2. С. 25–28.

ские возможности использования в условиях ремонтных предприятий⁶.

Выполненный анализ существующих способов [15, 17, 18, 19, 20], которые используются при восстановлении деталей техники, установил, что каждый способ имеет свою область применения в зависимости от факторов, перечисленных выше. Кроме того, к способу восстановления предъявляются следующие требования:

1. Небольшие энергетические и материальные затраты (не более 50% от новой).
2. Достаточный ресурс восстановленной детали (не менее 80% от новой).
3. Возможность увеличения технических параметров за счёт увеличения износостойкости, прочности и т.п.

Проведенный анализ отказов автомобилей и другой техники в источниках [19, 20, 21] показал, что при использовании в тяжёлых эксплуатационных условиях износые характеристики (износ поверхности, наличие микротрещин, царапины, сколы), снижающие ресурс деталей, увеличиваются, что снижает работоспособность в целом. Так, из [19, 20, 21] известно, что при таких условиях внешнего воздействия на технику именно трансмиссия подвержена наибольшему износу и снижению надёжности. Это обусловлено наличием высоких нагрузок на детали, что приводит к появлению продуктов износа, приводящих к повышенному абразивному износу. Особенно это касается посадочных мест под подшипники, зубьев шестерен и шлицев.

Так, согласно [22, 23, 24] причинами отказов трансмиссии более чем в 60% случаев являются детали, подверженные абразивному изнашиванию⁷. В основном при достижении предельного ресурса или износа детали заменяют на новые или заранее отремонтированные. Однако исследования, приведенные в [25, 26, 27], показали, что применение новых деталей может приводить к значительному снижению надёжности из-за явлений, проис-

ходящих в процессе приработки⁸. Также известно, что использование восстановленных деталей, которые уже ранее были в неисправном узле или механизме, снижает вероятность возникновения абразивного износа из-за снижения времени приработки и наличия продуктов износа [28, 29, 30, 31, 32].

Поэтому на основании вышеизложенного можно сделать вывод, что восстановление деталей, при условии соблюдения технико-экономических критериев, имеет достаточно большую перспективу для использования как способа поддержания автомобилей и другой техники в работоспособном состоянии.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ

После проведенного анализа существующих дефектов валов механических трансмиссий и задних мостов были сделаны выводы, что основными дефектами их являются: посадочные места под подшипники, износ шлицев и зубьев и др. деталей, которые подвержены абразивному изнашиванию. При износе более 0,05–0,5 мм посадочное место под подшипник становилось неработоспособным и приводило к отказу. Поэтому использование определенных способов восстановления устраняло данный дефект и давало возможность повторно использовать вал с необходимым запасом ресурса.

Для того чтобы рационально выбрать способ восстановления посадочных мест под подшипники валов механической трансмиссии, необходимо провести научно-техническое обоснование выбора способа с учётом требований к условиям эксплуатации техники. Далее решается задача по обоснованию использования восстановления как способа поддержания автомобиля в работоспособном состоянии с учётом требований к восстанавливаемой детали⁹.

Существует классический расчёт выбора способа восстановления, предложенный ещё профессором В.А. Шадричевым [33, 34, 35, 36, 37,38]:

⁶ Зорин В.А. Применение аддитивных технологий при изготовлении деталей машин / В.А. Зорин, М.И. Тимченко // Механизация строительства. 2018. Т. 79, № 1. С. 5–8.

⁷ Черных В.А., Аткишкин А.И., Песин М.В. Упрочняющее электромеханическое восстановление посадочных поверхностей валов под подшипники качения // Химия. Экология. Урбанистика. 2021. Т.1. С. 293–297.

⁸ Timokhova O., Burmistrova O., Shakirzyanov D. [et al.] Technological, cycle and actual productivity of the surfacing process in the restoration of parts of forest machines // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Kuala Lumpur, 02–05 декабря 2019 года. Kuala Lumpur, 2020. P. 012015. DOI 10.1088/1757-899X/839/1/012015.

⁹ Корнейчук Н.И., Лялякин В.П. Перспективы использования промышленных методов восстановления изношенных деталей машин гальваническими и полимерными покрытиями в современных условиях развития агропромышленного технического сервиса // Труды ГОСНИТИ. 2018. Т.130. С. 254–264.

$$K_T = \frac{C_B}{K_d} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где C_B – себестоимость восстановления 1 дм² изношенной поверхности детали различными способами, руб./дм²;

K_d – коэффициент долговечности, характеризующий физико-механические и прочностные характеристики восстановленной поверхности детали.

Однако данный способ не учитывает многих факторов (организацию ремонта, физико-механические свойства покрытий, сравнение с новой деталью и т.п.), поэтому в современных условиях необходимо учитывать вновь создаваемые технологии и возможности их применения с учётом современного производства и технико-экономических требований¹⁰.

Также рассмотрим один из универсальных подходов при выборе способа восстановления деталей, в частности посадочных мест под подшипник вала трансмиссии (далее детали), данную А.Н. Батищевым А.Н. [38, 39, 40], который предложил для этого использовать энергетический критерий, определяемый по формуле¹¹

$$W = \frac{K_{1i} \cdot K_{2i}}{K_{di}} \rightarrow \min, \quad (2)$$

где K_{1i}, K_{2i} – значение коэффициентов соответственно энергоёмкости и трудоёмкости технологического процесса восстановления детали i -м способом;

K_{di} – коэффициент долговечности, восстановленного посадочного места под подшипник вала механической трансмиссии.

Кроме энергетического критерия оценки способа восстановления существуют другие, которые могут влиять на общее обоснование при его использовании¹².

Рассмотрим некоторые из них, проанализировав их по значению и применению.

Коэффициент технико-экономической эффективности [41, 42, 43] по формуле

$$K_{ТЭЭ} = \frac{C_B}{C_H \cdot K_{пр}}, \quad (3)$$

где C_B, C_H – себестоимость восстановления деталей и стоимость новой соответственно, руб.;

$K_{пр}$ – коэффициент приведения, учитывающий реальные условия ремонта [44], который зависит от параметров, определяемых по формуле

$$K_{пр} = K_{ор} + K_{св} + K_{кс}, \quad (4)$$

где $K_{ор}$ – коэффициент, определяющий способ организации технологии ремонта (чем больше партия восстанавливаемых деталей, тем ниже значение коэффициента);

$K_{св}$ – коэффициент, учитывающий связь предприятия с поставщиками запасных частей, материалов и т.п. (чем ближе к источнику снабжения расходными материалами и запасными частями, тем меньше его значение);

$K_{кс}$ – коэффициент, учитывающий конъюнктурный спрос на данную деталь, а это зависит от частоты отказов восстановленного посадочного места под подшипник вала механической трансмиссии.

Данный критерий определяет технико-экономические затраты на восстановление или ремонт. Однако различные способы восстановления имеют различные значения данного коэффициента, но при условии их использования для предприятий как в единичном, так и в массовом производстве. Данный коэффициент также используется при оценке технологии ремонта путем обычной замены детали. Однако его значение при этом будет очень сильно меняться в зависимости от места ремонта и возможностей снабжения предприятия запасными частями. Так, например, ремонт автомобиля КамАЗ в Набережных Челнах, в городе, где производятся сами автомобили, будет самым дешёвым, в виду доступности запасных частей, поэтому коэффициент будет иметь высокое значение. С удалением места ремонта автомобиля стоимость возрастает. Это связано с логистикой и ограничениями возможности снабжения запасными частями. При использовании способа восстановления детали такой критерий будет зависеть только от материальных и энергетических затрат. Условием реализации выбранной технологии восстановления на предприятии будет место расположения, где техника нуждается в ремонте, в достаточном количестве, т.е. возможность организации ремонта централизованно [44, 45].

¹⁰ Серебровская Л.Н., Серебровский А.В., Шутченко Д.Л. Электроосаждение сплавов железо–хром // Региональный вестник. 2016. № 1(2). С. 46–47.

¹¹ Серебровский В.В., Серебровская Л.Н., Сафронов Р.И. [и др.]. Прогнозирование свойств электроосажденных покрытий на основе железа // Электрика. 2015. № 11. С. 36–37.

¹² Серебровская Л.Н., Блинков Б.С., Павлов П.А. [и др.]. Легирование хромом электролитических железных покрытий // Региональный вестник. 2016. № 2(3). С. 37–38.

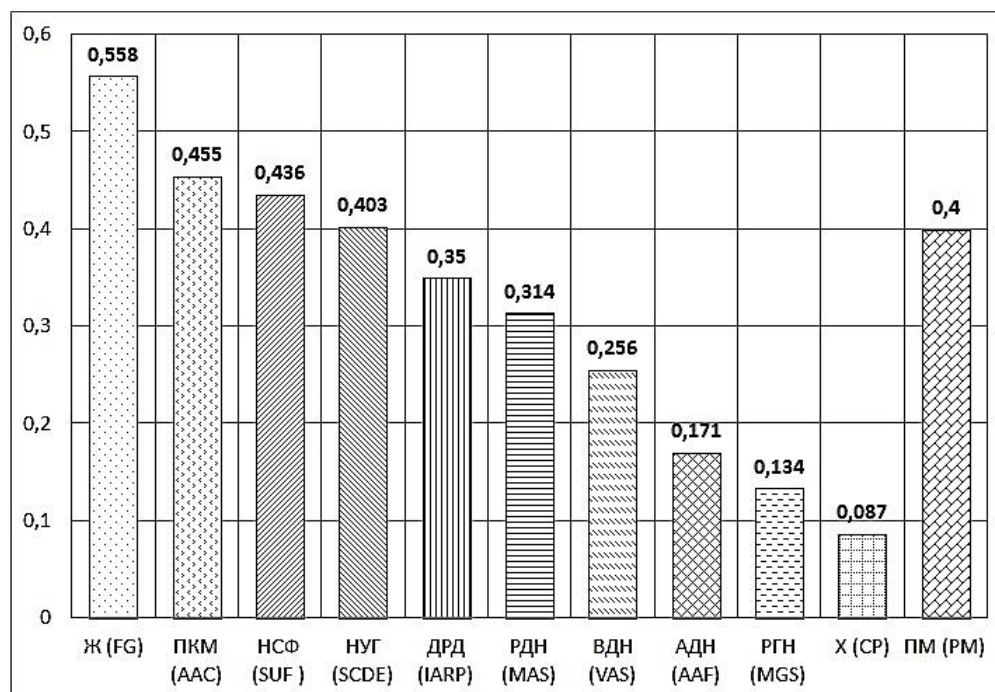


Рисунок 1 – Сравнительный анализ значений коэффициентов технико-экономической эффективности способов восстановления изношенной поверхности детали (C_p/K_p):

Ж – железнение с использованием постоянного тока; ПКМ – нанесение клеевых композиций; НСФ – наплавка под слоем флюса; НУГ – наплавка в среде углекислого газа; ДРД – постановка дополнительной ремонтной детали; РДН – ручная дуговая наплавка; ВДН – вибродуговая наплавка; АДН – аргоно-дуговая наплавка; РГН – ручная газовая наплавка; Х – хромирование; ПМ – плазменная металлизация [44, 45]

Figure 1 – Comparative analysis of the coefficients of technical and economic efficiency of methods for restoring a worn-out surface of a part (C_p/K_p):

FG – ferrugination, AAC – application of adhesive compositions, SUF – surfacing under a layer of flux, SCDE – surfacing in a carbon dioxide environment, IARP – installation of an additional repair part, MAS – manual arc welding surfacing, VAS – vibro-arc surfacing, AAF – argon-arc surfacing, MGS – manual gas surfacing, CP – chrome plating, PM – plasma metallization [44, 45]

На рисунке 1 рассмотрено значение коэффициента технико-экономической эффективности в зависимости от способа восстановления. Однако данный критерий не охватывает оценку применимости данного способа для деталей, работающих при определенных условиях эксплуатации, или не конкретизирует сравнение возможности их использования для одной и той же детали. Это обусловлено тем, что выбор способа зачастую зависит от области применения и условий эксплуатации, т.е. от конкретной детали. Она может быть изготовлена из различных материалов, с разными физико-механическими свойствами в зависимости от условий ее работы и эксплуатации [44, 45].

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для того чтобы понять методику выбора способа восстановления детали, необходимо произвести анализ характеристик технологии восстановления, позволяющий получить информацию о целесообразности применения ее для выбранной детали техники.

Перечислим основные характеристики, которые имеют определяющее значение при выборе способа восстановления: износостойкость, выносливость, сцепляемость (адгезия с подложкой), толщина и микротвердость покрытия, себестоимость технологии восстановления.

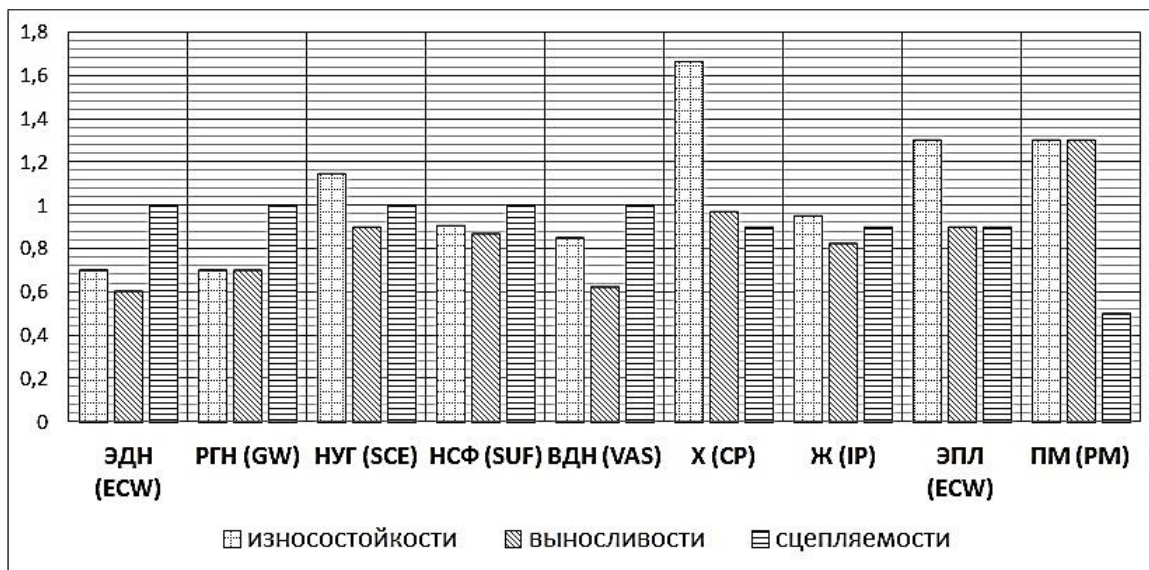


Рисунок 2 – Значение оценочных коэффициентов, в зависимости от способа восстановления:
 ЭДН – электродуговая наплавка; РГН – газовая сварка;
 НУГ – наплавка в среде CO₂; НСФ – наплавка под слоем флюса;
 ВДН – вибродуговая наплавка; Х – хромирование; Ж – железнение;
 ЭПЛ – электроконтактная приварка ленты;
 ПМ – плазменная металлизация [46, 47]

Figure 2 – The value of the estimated coefficients, depending on the recovery method:
 ECW – electric arc welding, GW – gas welding, SCE – surfacing in a CO₂ environment,
 SUF – surfacing under a layer of flu, VAS – vibro-arc surfacing, CP – chrome plating,
 IP – iron plating, ECW – electrocontact welding of tape, PM – plasma metallization [46, 47]

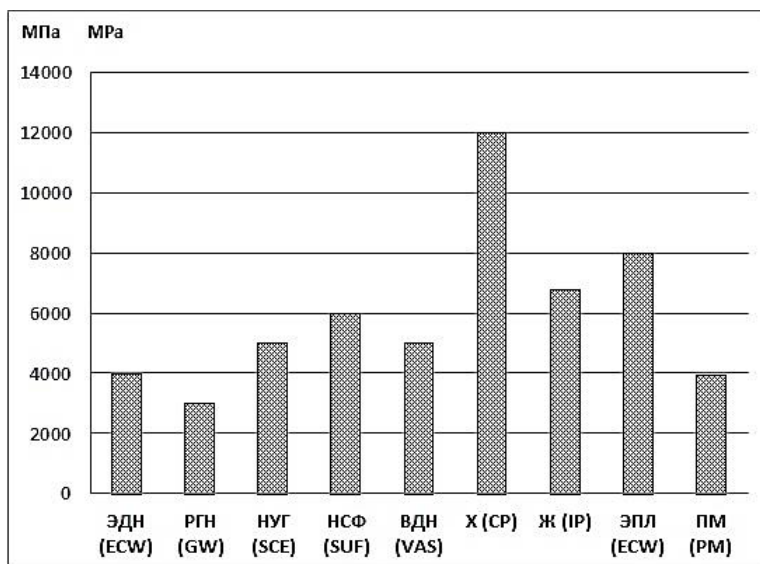


Рисунок 3 – Значение микротвёрдости поверхностей, восстановленных различными способами, МПа:
 ЭДН – электродуговая наплавка; РГН – газовая сварка; НУГ – наплавка в среде CO₂;
 НСФ – наплавка под слоем флюса; ВДН – вибродуговая наплавка; Х – хромирование;
 Ж – железнение; ЭПЛ – электроконтактная приварка ленты;
 ПМ – плазменная металлизация [46, 47]

Figure 3 – The value of the microhardness of the surfaces restored in various ways, MPa:
 ECW – electric arc welding, GW – gas welding, SCE – surfacing in a CO₂ environment,
 SUF – surfacing under a layer of flu, VAS – vibro-arc surfacing, CP – chrome plating, IP – iron plating,
 ECW – electrocontact welding of tape, PM – plasma metallization [46, 47]

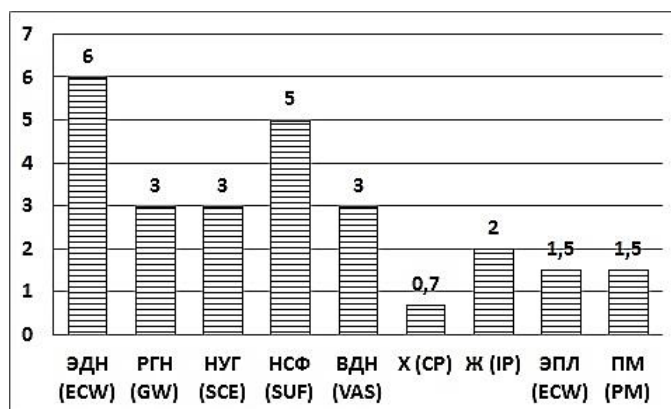


Рисунок 4 – Максимально возможная толщина слоя восстанавливаемого покрытия, мм:
 ЭДН – электродуговая наплавка; РГН – газовая сварка; НУГ – наплавка в среде CO_2 ;
 НСФ – наплавка под слоем флюса; ВДН – вибродуговая наплавка; Х – хромирование;
 Ж – железнение; ЭПЛ – электроконтактная приварка ленты;
 ПМ – плазменная металлизация [48, 49]

Figure 4 – Maximum possible thickness of the restored coating, mm:
 ECW – electric arc welding, GW – gas welding, SCE – surfacing in a CO_2 environment,
 SUF – surfacing under a layer of flu, VAS – vibro-arc surfacing, CP – chrome plating, IP – iron plating,
 ECW – electrocontact welding of tape, PM – plasma metallization [48, 50]

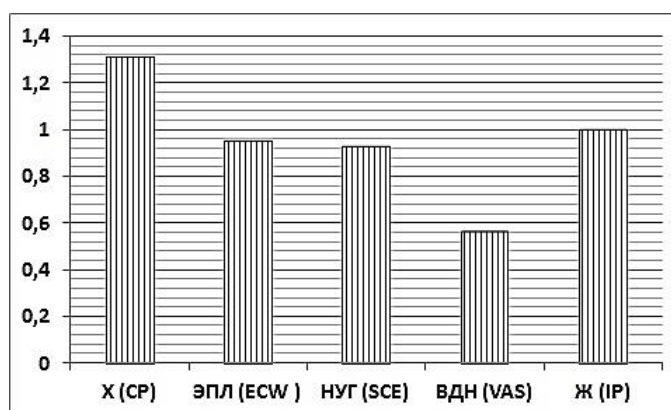


Рисунок 5 – Значение коэффициента долговечности при восстановлении посадочных мест под подшипники вторичного вала МКП автомобиля КамАЗ:
 Х – хромирование; ЭПЛ – электроконтактная приварка лент; НУГ – наплавка в среде CO_2 ;
 ВДН – вибродуговая наплавка; Ж – железнение [48, 49]

Figure 5 – The value of the durability coefficient during the restoration of mounting area for bearings of the secondary shaft of the manual transmission in KamAZ vehicle:
 CP – chrome plating, ECW – electrocontact welding of the tape, SCE – surfacing in a CO_2 environment,
 VAS – vibration arc surfacing, IP – iron plating [48, 49]

Проанализировав рисунки 2, 3, 4, в которых проведено сравнение характеристик различных способов восстановления, можно сделать вывод, что выбор способа должен осуществляться исходя из физико-механических характеристик детали, которую необходимо восстановить. Каждый способ имеет свои характеристики, однако область их применения ограничена следующими факторами: возможностью организации, себе-

стоимостью технологии восстановления, условиями работы детали значениями предельного износа.

Поэтому при выборе способа ремонта зачастую основополагающим критерием выступают физико-механические свойства восстанавливаемой поверхности детали в виде коэффициента долговечности, так как от него будет зависеть целесообразность использования восстановленной детали.

Рассмотрим в качестве примера расчёт коэффициента долговечности при восстановлении посадочных мест под подшипники вторичного вала МКП автомобиля КамАЗ наиболее перспективными способами (рисунок 5), которые применимы с учётом условий работы детали.

Из рисунка 5 видно, что хромирование и железнение имеют наибольшие значения коэффициента долговечности. Это обусловлено свойствами покрытий, получаемых электролитическим способом. Его преимуществом является отсутствие термического влияния, которое способствует снижению усталостной прочности, что снижает долговечность покрытия.

Известно [49], что хромирование из-за сложностей в организации технологического процесса, экологических требований и низкой производительности имеет ограничения на применение. Однако железнение по своей производительности и характеристикам может быть использовано, но требует совершенствования путем улучшения физико-механических свойств с учётом условий работы детали. Поэтому перспективным способом является применение сплава железа и хрома с получением высокой износостойкости при сохранении такой же высокой производительности, как у технологии железнения.

В результате оценки различных способов восстановления деталей, при использовании критерия долговечности, установлено, что одним из наиболее рациональных является железнение, поскольку оно не имеет себе равных при массовом восстановлении деталей с малыми износами.

Исследования показали, что получаемые покрытия из электролитического железа могут приближаться по твердости и износостойкости к закаленной среднеуглеродистой стали. Так, в качестве износостойкого покрытия их рационально использовать для деталей, не выше по содержанию углерода марок стали 45 или 50 [49, 50]. Так как для валов трансмиссии используют в основном малоуглеродистую легированную сталь, то железнение становится одним из перспективных. Однако легирующие добавки могут повлиять на прочность сцепления и физико-технические свойства, поэтому требуются дополнительные исследования. В связи с этим необходимо проводить упрочнение и повышение износостойкости низкоуглеродистых легированных сталей, которые используются для изготовления деталей, в частности валы МКП, работающие в услови-

ях абразивного изнашивания, путём создания прочных сплавов на основе железа. Также улучшение свойств покрытий, получаемых из сплавов железа, возможно путем полного изменения свойств покрытий, которые приобретаются ими в процессе электроосаждения и последующей термомеханической или химико-термической обработки [49, 50].

Опираясь на приведенные обоснования, дальнейшие исследования проводились для получения сплавов железа и хрома с целью улучшения физико-механических свойств для использования при восстановлении посадочных мест под подшипники деталей трансмиссии автомобилей и другой техники, работающих при повышенных нагрузках.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Известно, что одним из факторов, оказывающим влияние на выход по току (производительность) и качество покрытий при железнении, является кислотность, которая оценивается параметром pH. Поэтому с целью исследования сплавов железа и хрома необходимо было получить зависимость влияния этого параметра на производительность и качество покрытий, с целью определения целесообразности применения для восстановления посадочных мест под подшипники валов трансмиссии, работающих при абразивном изнашивании [50].

Для этого использовали электролит следующего состава: 150 г/л хлорид железа, 50 г/л сульфат хрома. Травление осуществляли в 30%-ном растворе соляной кислоты с добавлением 5% сульфата железа для мягкости травления при плотности тока 75–100 А/дм².

Размеры образцов круглого сечения для исследований выбирались из расчёта площади покрытия 0,1 дм². Их изготавливали из стали 45 по ГОСТ 1050–2013.

Кислотность измеряли pH-метром Smart Sensor AS218 с точностью измерения 0,01 ед., откалиброванным стандартными буферными растворами, температуру контролировали с помощью ртутного термометра.

Осаждение осуществляли на установке, имеющей механизм перемешивания и поддержания необходимой температуры с различными режимами.

Микротвёрдость измеряли с помощью микротвёрдомера ПМТ-3. Выход по току измеряли весовым способом на весах ВЛР-200. Микроструктуру изучали с помощью металлографического микроскопа ММУ-3 с приставкой для оцифровки изображения [50].

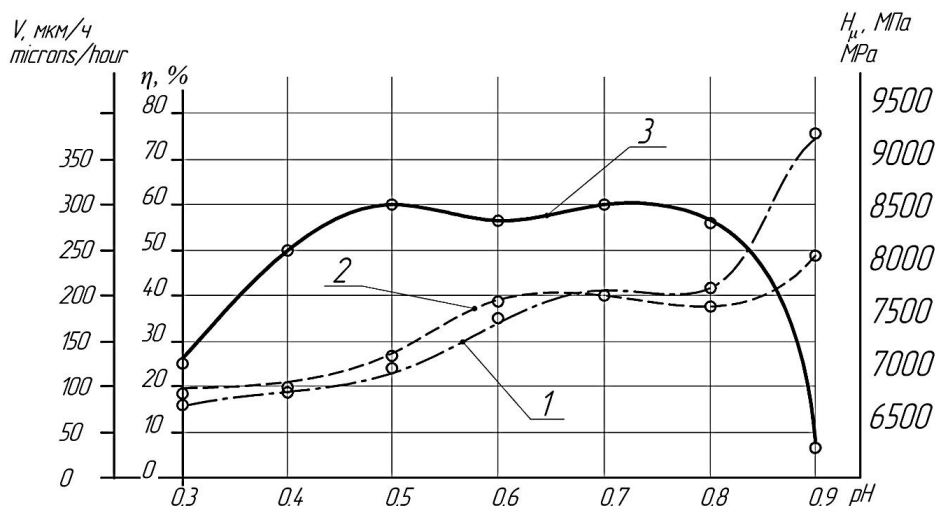


Рисунок 6 – Влияние кислотности pH на:
 1 – выход по току η (%); 2 – скорость осаждения V (мкм/ч);
 3 – микротвёрдость, H_v (МПа) при получении покрытий в электролите железо-хромового раствора ($FeCl_2$ – 150 г/л; $Cr_2(SO_4)_3$ – 50 г/л), при температуре электролита $40 \pm 2^\circ C$ и плотности тока $40 A/dm^2$ [50, 51]

Figure 6 – Effect of pH acidity on:
 1 – current output η (%); 2 – deposition rate V (microns/hour),
 3 – microhardness, H_v (MPa) when coatings are obtained in an electrolyte of an iron-chromium solution ($FeCl_2$ – 150 g/l; $Cr_2(SO_4)_3$ – 50 g/l), at an electrolyte temperature of $40 \pm 2^\circ C$ and a current density of $40 A/dm^2$ [50, 51]

В результате проведенных исследований были получены зависимости влияния кислотности и температуры электролита на производительность (скорость осаждения) и качество покрытий (микротвёрдость) (рисунок 6).

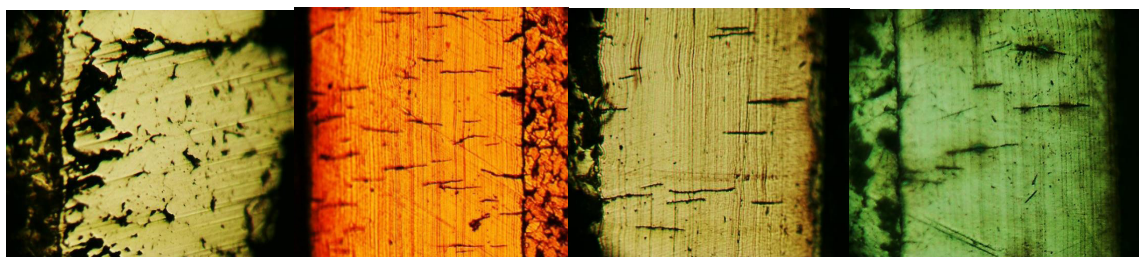
Исходя из существующих режимов железнения (30 – $50^\circ C$), в качестве температурных режимов при осаждении были приняты те же температуры. Это связано с тем, что в основе получаемого покрытия было железо, а хром присутствовал как элемент, по предположению, необходимый для увеличения износостойкости.

В результате проведенных экспериментов, результат которых приведен на рисунке 6, исследования железохромового сплава при режимах осаждения было установлено, что кислотность оказывает существенное влияние на основные параметры осаждения: выход по току, скорость осаждения и микротвёрдость. При значениях кислотности от $0,3$ до $0,9$, наиболее сильно происходило изменение данных результатов. Изменение выхода по току – от 15 до 75% , скорость осаждения от 75 до 250 мкм/ч и микротвёрдость от 7250 до 8500 МПа. При этом при значениях кислотности $0,4$ – $0,6$ наблюдались наилучшие показатели, которые в дальнейшем будут использовать в качестве базового режима [50, 51].

Для подтверждения полученных результатов изучены микроструктуры шлифов покрытий, получаемых при режимах кислотности от $0,3$ – $0,9$, при температурах электролита 30 – $50^\circ C$ и плотности тока 30 – $50 A/dm^2$.

Шлифы выполняли путем разрезания образцов с использованием известной методики [50, 51] по подготовке шлифа для изучения микроструктуры.

В результате анализа микроструктуры получаемых железо-хромовых покрытий из исследуемого электролита, при плотности тока $40 A/dm^2$ и температуре электролита $40^\circ C$, было установлено, что наиболее качественные покрытия получают при кислотности в диапазоне $0,4$ – $0,6$ (рисунок 7, б и в), при котором покрытие образуется с небольшим количеством микротрещин, с единым направлением. Благодаря данной структуре, с наличием микротрещин, можно предположить, что будет происходить накопление смазки в них, это благоприятно будет сказываться на износостойкости и сопротивлению абразивному изнашиванию в процессе эксплуатации. Поэтому возможно использовать данный способ для восстановления посадочных мест под подшипники валов трансмиссии, которые подвержены абразивному изнашиванию, при недостаточном количестве на поверхности смазочных материалов.



а (a)

б (b)

в (c)

г (d)

Рисунок 7 – Микроструктура железо-хромового покрытия, получаемого из электролита FeCl_2 – 150 г/л; $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ – 50 г/л, при плотности 40 А/дм², и температуре 40°С при значения кислотности (рН): а – 0,3–0,4; б – 0,4–0,50; в – 0,5–0,6; г – 0,8–0,9 [50, 51]

Figure 7 – Microstructure of the iron-chromium coating obtained from the electrolyte FeCl_2 – 150 г/л; $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ – 50 г/л, at a density of 40 А/дм², and a temperature of 40°С at an acidity value (рН): а – 0.3-0.4; б – 0.4-0.50, с – 0.5-0.6; д – 0.8-0.9. [50, 51]

Покрyтия, получаемые при значениях кислотности 0,3–0,4 и 0,8–0,9 имели явно увеличенные микротрещины при возможном возникновении усталостного разрушения в будущем, что делало данный режим нецелесообразным для применения при восстановлении деталей узлов агрегатов автомобилей и дорожно-строительной техники, в частности посадочных мест под подшипники валов трансмиссии [50, 51].

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований по обоснованию выбора метода восстановления посадочных мест под подшипники валов трансмиссии автомобилей и других видов самоходной техники были определены существующие способы восстановления. Они не отвечали техническим требованиям к детали и не давали необходимые физико-механические свойства восстанавливаемых поверхностей.

По предварительному анализу способов, при которых получают наиболее износостойкие и долговечные покрытия, было выявлено, что одним из них является – железнение.

Однако железнение не давало достаточные физико-механические свойства для поверхностей деталей, подверженных абразивному изнашиванию. Поэтому, проведя предварительный анализ литературных источников, предложен новый способ получения железо-хромовых покрытий с необходимыми свойствами, при следующем составе электролита – FeCl_2 – 150 г/л; $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ – 50 г/л.

Одним из существенных факторов, влияющих на производительность и качество покрытий, при использовании предложенного спо-

соба была кислотность. Поэтому дальнейшие исследования проведены по изучению влияния кислотности на выход по току, скорость осаждения и микротвердость. Также изучена микроструктура покрытий, получаемых при температуре электролита 40 ± 2 °С и плотности тока 40 А/дм². В результате можно выбрать следующие режимы для дальнейших исследований износостойкости:

1. Кислотность (рН) – 0,4-0,6.
2. Плотность тока 40 А/дм².
3. Температура электролита 40 ± 2 °С.

При данных режимах получают покрытия микротвердостью 8000–8500 МПа, с небольшой трещиноватостью, которая окажет, по нашему мнению, положительное влияние на износостойкость покрытия. При этом будет достаточно высокая производительность: выход по току – 20–40% и скорость осаждения 100–200 мкм/ч.

Поэтому предполагается в дальнейшем, после проведенных износных лабораторных и эксплуатационных испытаний, использовать данный способ для восстановления посадочных мест под подшипники трансмиссии автомобилей и другой техники.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Котомчин А.Н., Корнейчук Н.И. Влияние условий эксплуатации дорожно-строительных машин и специализированного автотранспорта на ресурс их узлов и агрегатов // Технический сервис машин. 2019. № 2(135). С. 135–142.
2. Захаров Н.С., Попцов В.В., Сапоженков Н.О. Расчётное исследование надёжности автомобилей на основе фактических отказов // Научно-технический вестник Поволжья. 2022. № 11. С. 58–61.

3. Мусин К.С., Сабралиев Н.С., Адилбеков М.А. Исследование и повышение эксплуатационной надежности грузовых автомобилей // Вестник Алматинского технологического университета. 2018. № 3. С. 75–81.
4. Комов Е.А. Обеспечение повышения надежности автотранспортных средств // Грузовик. 2013. № 1. С. 16–18.
5. Макаренко А.В., Мороз А.В. Оценка эффективности автомобиля по показателям безотказности и долговечности // Воронежский научно-технический вестник. 2014. Т. 3, № 1(7). С. 110–115.
6. Белоковильский А.М. Надежность автомобильного транспорта: монография. Пенза: Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2018. 172 с. ISBN 978-5-9282-1530-9.
7. Некрасов В.И., Зиганшин Р.А., Захаров Н.С. [и др.]. Исследование надежности агрегатов шасси автомобилей Mercedes-Benz Actros // Наука и бизнес: пути развития. 2021. № 4(118). С. 14–17.
8. Кондратьева В.В., Нугаева В.О. Влияние условий эксплуатации на надежность автомобиля // Техническое регулирование в транспортном строительстве. 2019. № 2(35). С. 152–155.
9. Яковлев К.А. Комплексный показатель оценки надежности автомобилей и агрегатов // Воронежский научно-технический вестник. 2013. Т. 2, № 3(5). С. 79–90.
10. Баженов С.П., Толстых Е.В. Проблема повышения эксплуатационной надежности специализированной автотранспортной техники // Мир транспорта и технологических машин. 2011. № 2(33). С. 31–40.
11. Козловский В.Н., Малеев Р.А., Панюков Д.И. [и др.]. Комплекс аналитических инструментов оценки эффективности мероприятий, направленных на улучшение надежности автомобилей // Известия МГТУ МАМИ. 2014. Т. 1, № 2(20). С. 31–36.
12. Choriev Kh.Sh. Performance Indicators of Vehicle Use in the Transportation Process // Journal of Siberian Federal University. Engineering and Technologies. 2020. Vol. 13, No. 6. P. 766–771. DOI: <https://doi.org/10.17516/1999-494X-0265>.
13. Balgabekov T.K., Kongkybayeva A.N. The question of efficiency of using cargo cars // Science and Technology of Kazakhstan. 2019. No. 2. P. 36–43.
14. Хохлов П.И., Ильин П.А., Казиев Ш.М. Выбор рациональных способов восстановления сопряжения «вал–подшипники качения» коробки передач тракторов «Кировец» // Известия Международной академии аграрного образования. 2020. № S49. С. 60–64.
15. Федорова Л.В., Федоров С.К., Бохонов Г.Ю. Упрочняющее электромеханическое восстановление вторичного вала коробки перемены передач автомобилей семейства «Газель» // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2015. № 9. С. 14–16.
16. Фёдоров С.К., Иванова Ю.С., Лашуков М.А., Мехия Рамос Б.Х. Электромеханическое восстановление посадочных поверхностей валов под подшипники качения. Агроинженерия. 2019; (4): 29–34. DOI: <https://doi.org/10.34677/1728-7936-2019-4-29-34>
17. Холов Д.Т. Влияние износ посадочных поверхностей подшипников и деформации осей валов передачи на условия работы зубчатых передач // Вестник Хорогского университета. 2023. № 1(25). С. 126–130.
18. Иванов В.П. Выбор способа восстановления деталей // Наука и техника. 2016. Т. 15, № 1. С. 9–17. DOI: <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2016-15-1-9-17>
19. Доронина Н.П., Жевора Ю.И., Пантух М.Л. Совершенствование технологии и средств восстановления изношенных деталей // Научное обозрение. 2016. № 21. С. 75–78.
20. Марков В.А., Марков А.Н., Кретинин В.И. [и др.]. Оптимизация выбора технологических процессов восстановления деталей // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2016. № 217. С. 194–205. DOI: <https://doi.org/10.21266/2079-4304.2016.217.194-205>
21. Малыхин В.В., Гайдаш Н.М., Артеменко Ю.А. [и др.]. Технология восстановления деталей грузового и пассажирского транспорта // Известия Юго-Западного государственного университета. 2017. № 1(70). С. 16–23. DOI: <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2017-21-1-16-23>
22. Стребко С.В., Слободюк А.П., Бондарев А.В. Экономическое подтверждение объективной необходимости замещения импортных запасных частей восстановлением // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2015. № 3(7). С. 17–28.
23. Гирфанов Э.С. Восстановление деталей машин электроискровым легированием // Молодежь и наука. 2018. № 8. С. 28.
24. Фомин А.И., Сенин П.В., Власкин В.В. И [и др.]. Комбинированная технология восстановления работоспособности деталей типа «вал» // Техника и оборудование для села. 2020. № 5(275). С. 38–41. DOI: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2020-5-38-41>
25. Lastovirya V.N., Novokreshchenov V.V., Rodyakina R.V. Restoration of the geometry and properties of rollers of the lower section of bearings by surfacing // Welding International. 2015. Vol. 29, No. 10. P. 815–818. DOI: <https://doi.org/10.1080/09507116.2014.986890>.
26. Истомин А.Б., Лизунов И.В., Дмитриев В.О. [и др.]. Способы восстановления деталей в ремонтном производстве // Главный механик. 2021. № 6. С. 59–73. DOI: <https://doi.org/10.33920/pro-2-2106-05>
27. Смолянский О.В., Бурков И.Л., Заньков П.Н. Способы восстановления деталей при ремонте технических средств // Научный вестник Вольского военного института материального обеспечения: военно-научный журнал. 2014. № 2(34). С. 342–344.
28. Кудряшов Е.А., Смирнов И.М. К выбору рационального способа восстановления работоспособности изношенных поверхностей деталей // Известия Юго-Западного государственного универ-

ситета. Серия: Техника и технологии. 2014. № 1. С. 8–13.

29. Бондарева Г.И. Методика выбора технологических процессов восстановления деталей машин // Международный технико-экономический журнал. 2010. № 3. С. 75–82.

30. Стародубцев И.Г., Смоленцев В.П., Мозгалин В.Л. [и др.]. Восстановление размеров и качества деталей комбинированным гальваномеханическим покрытием // Справочник. Инженерный журнал. 2021. № 12(297). С. 3–9. DOI: <https://doi.org/10.14489/hb.2021.12.pp.003-009>

31. Нефелов И.С. Восстановление изношенных деталей машин при помощи дополнительных ремонтных деталей, изготовленных методами аддитивных технологий // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2018. № 11. С. 15–17. DOI: <https://doi.org/10.31044/1684-2561-2018-0-11-15-17>

32. Гудонец В.А., Журавлев С.Ю. Восстановление деталей гидрооборудования машин электролитическим хромированием // Научно-образовательный потенциал молодежи в решении актуальных проблем XXI века. 2017. № 8. С. 92–94.

33. Тихненко В.Г. Технология восстановления изношенных деталей хромированием // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». 2008. № 3(28). С. 115–116.

34. Makarenko V.D., Maksimov S.Yu., Mieshekov Yu.Ye. [et al.] Technologies and materials for the renovation of erosion-worn parts of automobile equipment // Problems of Tribology. 2023. Vol. 28, No. 4/110. P. 6–12. DOI: <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2023-110-4-6-12>.

35. Бомешко Е.В., Корнейчук Н.И. Электроосаждение двойных и тройных сплавов на основе железа и хрома: теоретические представления и практические рекомендации // Вестник Приднестровского университета. Серия: Физико-математические и технические науки. Экономика и управление. 2019. № 3(63). С. 153–165.

36. Голубев И.Г., Апатенко А.С., Севрюгина Н.С. [и др.]. Перспективные направления использования аддитивных технологий в ремонтном производстве // Техника и оборудование для села. 2023. № 6(312). С. 35–38. DOI: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2023-6-35-38>

37. Корнейчук Н.И., Ерхан Ф.М., Бомешко Е.В. Влияние параметров периодического тока с обратным регулируемым импульсом на структуру и микротвердость электролитических железных покрытий // Вестник Приднестровского университета. Серия: Физико-математические и технические науки. Экономика и управление. 2017. № 3(57). С. 81–87.

38. Агеев Е.В., Серебровский В.И., Серникова О.С. Оценка износостойкости гальванопокрытий восстановленных деталей // Техника и оборудование для села. 2024. № 4(322). С. 36–39. DOI: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2024-4-36-39>

39. Серебровский В.И., Серебровский В.В., Сафронов Р.И. [и др.]. Упрочняющее легирование электроосажденного железа // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 4. С. 68–71.

40. Серебровский В.В., Серникова О.С. Восстановление деталей машин упрочненными электроосажденными покрытиями // Современные материалы, техника и технологии. 2023. № 6(51). С. 42–48.

41. Серникова О.С., Серебровский В.И., Калущий Е.С. Исследование износостойкости электроосажденных покрытий // Современные материалы, техника и технологии. 2022. № 6(45). С. 77–82.

42. Юдин В.М., Шиповалов А.Н., Храпов Г.А. Восстановление деталей автомобилей // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2017. № 4. С. 11–13.

43. Юдин В.М., Серебровский В.В., Серебровская Л.Н., Гнездилова Ю.П. Выбор критерия оценки технологических процессов ремонтного производства // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 6. С. 72–73.

44. Lyakhov, E. Yu., Zorin V. A. The Influence of Technological Modes on the Quality of Coatings Made of Powder Polymer-Composite Materials // Polymer Science, Series D. 2023. Vol. 16, No. 1. P. 89–93. DOI: <https://doi.org/10.1134/s1995421223010173>.

45. Котомчин А. Н. Влияние электрохимической обработки на прочность сцепления с подложкой при восстановлении деталей автотранспорта, работающих при гидроабразивном изнашивании // Вестник СибАДИ. 2022. Т.19, № 4(86). С. 546–559. DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-4-546-559>.

46. Котомчин А.Н., Ляхов Е.Ю., Зорин В.А. Повышение производительности и качества нанесения полимерных композиций при восстановлении посадочных мест под подшипники агрегатов автомобилей и дорожно-строительной техники // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2024. № 2(77). С. 82–92.

47. Котомчин А.Н., Зорин В.А. Исследования адгезионных и износостойчивых свойств хромовых покрытий для восстановления деталей автомобилей и дорожно-строительной техники // Вестник СибАДИ. 2023. Т. 20, № 4(92). С. 458–473. DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-4-458-473>

48. Янута А.С., Корнейчук Н.И., Синельников А.Ф. Анализ применения электролитов для получения электролитических сплавов Fe-Cr при восстановлении деталей машин и оборудования // Вестник Приднестровского университета. Серия: Физико-математические и технические науки. Экономика и управление. 2021. № 3(69). С. 101–106.

49. Янута А.С. Исследование влияния режимов осаждения на структуру электролитического бинарного покрытия Fe-Cr, полученного из сульфатно-хлоридного электролита // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного

технического университета (МАДИ). 2022. № 3(70). С. 17–21.

50. Янута А.С., Штефан Ю.В., Федоров В.К. [и др.]. Моделирование процесса электролитического покрытия сплава железо–хром из сульфатно-хлоридного электролита при восстановлении деталей машин // Вестник СибАДИ. 2023. Т. 20, № 2(90). С. 260–276. DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-2-260-276>

51. Янута А.С., Корнейчук Н.И. Исследование влияния условий осаждения на содержание хрома в электролитическом железо-хромовом покрытии, применяемом для восстановления посадочных мест под подшипники // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. 2024. № 1(23). С. 72–76.

REFERENCES

1. Kotomchin A.N., Korneychuk N.I. Influence of the conditions of operation of road construction machines and specialized motor transport on the resource of their knots and units. *Technical service of cars*. 2019; 2 (135): 135-142. (In Russ.)
2. Zaharov N.S., Popcov V.V., Sapozhenkov N.O. Service frequency correction of heavy trucks braking system. *Nauchno-tehnicheskij vestnik Povolzh'ja=Scientific and Technical Volga region Bulletin*. 2022; 11: 58–61. (In Russ.)
3. Musin K.S., Sabraliev N.S., Adilbekov M.A. Research and improvement of the operational reliability of trucks *The Journal of Almaty Technological University*. 2018; (3): 75–81. (In Russ.)
4. Komov E.A. Ensuring increased reliability of motor vehicles. *Truck*. 2013; 1: 16–18. (In Russ.)
5. Makarenko A.V., Moroz A.V. Assessment of vehicle efficiency in terms of reliability and durability. *Voronezhskij nauchno-tehnicheskij Vestnik=Voronezh Scientific and Technical Journal*. 2014; V. 3, No1(7): 110–115. (In Russ.)
6. Belokovyl'skij A.M. Reliability of road transport: monografija. Penza: Penzenskij gosudarstvennyj universitet arhitektury i stroitel'stva. 2018: 172. (In Russ.)
7. Nekrasov V.I., Ziganshin R.A., Zaharov N.S., Gorohov K.Ju. Investigation of the reliability of Mercedes-Benz Actros chassis units. *Science and business: development ways*. 2021; 4(118): 14–17. (In Russ.)
8. Kondrat'eva V.V., Nugaeva V.O. The influence of operating conditions on the reliability of the car. *Tehnicheskoe regulirovanie v transportnom stroitel'stve=Transport construction*. 2019; 2(35): 152–155. (In Russ.)
9. Jakovlev K.A. Complex indicator of assessment of reliability of cars and aggregates. *Voronezhskij nauchno-tehnicheskij Vestnik=Voronezh Scientific and Technical Bulletin*. 2013; V. 2, No 3(5): 79–90. (In Russ.)
10. Bazhenov S.P., Tolstyh E.V. The problem of increasing the operational reliability of specialized motor vehicles. *World of transport and technological machines*. 2011; 2(33): 31–40. (In Russ.)
11. Kozlovskij V.N., Maleev R.A., Panjukov D.I., L.A. Kudinova A set of analytical tools for evaluating the effectiveness of measures aimed at improving the reliability of cars. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2014; V. 1, No 2(20): 31–36. (In Russ.)
12. Choriev Kh.Sh. Performance Indicators of Vehicle Use in the Transportation Process. *Journal of Siberian Federal University. Engineering and Technologies*. 2020; Vol. 13, No.6: 766–771. DOI: <https://doi.org/10.17516/1999-494X-0265>.
13. Balgabekov T.K., Kongkybayeva A.N. The question of efficiency of using cargo cars. *Science and Technology of Kazakhstan*. 2019; No. 2: 36–43.
14. Khokhlov P.I., Il'in, Sh. M. Kaziev The choice of rational methods for restoring the coupling “shaft-rolling bearings” of the kirovets gearbox. *Izvestija Mezhdunarodnoj akademii agrarnogo obrazovanija=International Journal of Agrarian Science and Education*. 2020; S49: 60–64. (In Russ.)
15. Fedorova L.V., Fedorov S.K., Bohonov G.Ju. Strengthening electromechanical restoration of the secondary shaft of the gearbox of Gazelle family cars. *Remont, Vosstanovlenie, Modernizatsiya (Repair, Reconditioning, Modernization)*. 2015; 9: 14–16. (In Russ.)
16. Fedorov S.K., Ivanova Yu.S., Lashukov M.A., Mejia Ramos B. Electromechanical restoration of shaft seats under roller bearings. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2019; (4): 29–34. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.34677/1728-7936-2019-4-29-34>
17. Khokhlov D.T. The influence of wear on bearing mounting surfaces and deformation of transmission shaft axes on the working conditions of gears. *Bulletin of the Khorog university*. 2023; 1(25): 126–130. (In Russ.)
18. Ivanov V.P. Selection of method for restoration of parts. *Science & Technique*. 2016; 15(1): 9–17. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2016-15-1-9-17>
19. Doronina N.P., Zhevora Ju.I., Pantuh M.L. Enhancing the technology and recovery tools of worn-out parts. *Science Review*. 2016; 21: 75–78. (In Russ.)
20. Markov V.A., Markov A.N., Kretinin V. I., Sokolova V.A., Gaidukova P.A. Optimization of choice of technological processes of details' restoration. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicheskaj Akademii*. 2016; 217: 194–205 (in Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21266/2079-4304.2016.217.194-205>
21. Malihin V.V., Gaidah N.M., Artemenco Yu.A., Novikov S.G., Novikov F.V. Freight and passenger vehicles parts reconditioning technique. *Proceedings of the Southwest State University*. 2017; 21(1): 16–23. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2017-21-1-16-23>
22. Strebkov S.V., Slobodjuk A.P., Bondarev A.V. The economic proof of the objective necessity of replacement of imported parts restoration. *Innovations in Agricultural Complex: problems and perspectives*. 2015; No 3(7): 17–28. (In Russ.)
23. Girfanov Je.S. Restoration of details of cars spark alloying. *Youth and science*. 2018; 8: 28. EDN YWBFAT (In Russ.)

24. Fomin A.I., Senin P.V., Vlaskin V.V., Kurguzkin M.A. Mixed technology for restoring shaft part operability. *Tehnika i oborudovanie dlja sela=Machinery and equipment for rural area*. 2020; 5(275): 38–41. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2020-5-38-41>
25. Lastoviryia V.N., Novokreshchenov V.V., Rodyakina R.V. Restoration of the geometry and properties of rollers of the lower section of bearings by surfacing. *Welding International*. 2015; Vol. 29, No.10: 815-818. DOI: <https://doi.org/10.1080/09507116.2014.986890>.
26. Istomin A.B., Lizunov I.V., Dmitriev V.O., Kozlov V.B. Methods of restoring parts in repairs. Chief Mechanical Engineer. 2021; 6: 59-73. DOI: <https://doi.org/10.33920/pro-2-2106-05>. (In Russ.)
27. Smoljanskij O.V. Burkov I.L., Zan'kov P.N. Methods of restoration of details at repair of o technical equipment. *Nauchnyj vestnik Vol'skogo voennogo instituta material'nogo obespechenija: voenno-nauchnyj zhurnal*. 2014; 2(34): 342–344. (In Russ.)
28. Kudrjashov E.A., Smirnov I.M. Towards the choice of a rational method for restoring the operability of worn-out surfaces of parts. *Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technology*. 2014; 1: 8–13. (In Russ.)
29. Bondareva G.I. Methodology for selecting technological processes for restoring machine parts. *International Scientific Journal*. 2010; 3: 75–82. (In Russ.)
30. Starodubtsev I.G., Smolentsev V.P., Mozgalin V.L., Nenakhov N.N. Restoration of the size and quality of parts by combined galvanomechanical coating. *Spravochnik. Inzhenernyj zhurnal*. 2021; 2(297): 3–9. (in Russ.) DOI: <https://doi.org/10.14489/hb.2021.12.pp.003-009>.
31. Nefelov I.S. Renewal of worn-out parts of machines with application of additional repair parts made by additive technology methods. *Remont. Vostanovlenie. Modernizacija*. 2018; 11: 15–17. (in Russ.) DOI: <https://doi.org/10.31044/1684-2561-2018-0-11-15-17>
32. Gudonec V.A., Zhuravlev S.Ju. Restoration of details of the hydraulic equipment of cars electrolytic chromium coating. Youth scientific and educational potential in solving actual problems of the XXI century. 2017; 8: 92–94. (In Russ.)
33. Tihnenko V.G. Technology of restoration of worn parts by chrome plating *Vestnik of federal state educational institution of higher professional education "Moscow state agroengineering university named after V. P. Goryachkin* 2008; 3(28): 115–116. (In Russ.)
34. Makarenko V.D., Maksimov S.Yu., Mieshkov Yu.Ye., Selieverstov I.A. Technologies and materials for the renovation of erosion-worn parts of automobile equipmen. *Problems of Tribology*. 2023; Vol. 28, No.4/110: 6–12. DOI: <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2023-110-4-6-12>
35. Bomesheko E.V., Kornejchuk N.I. Electrodeposition of double and triple alloys based on iron and chromium: theoretical concepts and practical recommendations. *Vestnik Pridnestrovskogo universiteta. Serija: Fiziko-matematicheskie i tehnichekie nauki. Jekonomika i upravlenie*. 2019; (63): 153–165. (In Russ.)
36. Golubev I.G., Apatenko A.S., Sevrjugina N.S. [i dr.]. Promising directions of using additive technologies in repair production]. *Tehnika i oborudovanie dlja sela=Machinery and equipment for rural area*. 2023; (312): 35–38. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2023-6-35-38>.
37. Kornejchuk N.I., Erhan F.M., Bomesheko E.V. The influence of periodic current parameters with a reverse controlled pulse on the structure and microhardness of electrolytic iron coatings. *Vestnik Pridnestrovskogo universiteta. Serija: Fiziko-matematicheskie i tehnichekie nauki. Jekonomika i upravlenie*. 2017; 3(57): 81–87. (In Russ.)
38. Ageev E.V., Serebrovskij V.I., Sernikova O.S. Evaluation of the wear resistance of electroplated parts. *Tehnika i oborudovanie dlja sela*. 2024; 4(322): 36–39. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2024-4-36-39>
39. Serebrovskij V.I., Serebrovskij V.V., Safronov R.I., Gnezdilova Ju.P. Strengthening alloying of electrodeposited iron. *Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii*. 2015; 4: 68–71. (In Russ.)
40. Serebrovskij V.V., Sernikova O.S. Restoration of machine parts with hardened electrodeposited coatings. *Sovremennye materialy, tehnika i tehnologii*. 2023; 6(51): 42–48. (In Russ.)
41. Sernikova O.S., Serebrovskij V.I., Kaluckij E.S. Study of wear resistance of electrodeposited coatings. *Sovremennye materialy, tehnika i tehnologii*. 2022; 6(45): 77–82. (In Russ.)
42. Judin V.M., Shipovalov A.N., Hrapkov G.A. Restoration of car parts. *Remont, Vosstanovlenie, Modernizatsiya*. 2017; 4: 11–13. (In Russ.)
43. Judin V.M., Serebrovskij V.V., Serebrovskaja L.N., Gnezdilova Ju.P. Selection of criteria for evaluating technological processes of repair production. *Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii* 2015; 6: 72–73. (In Russ.)
44. Lyakhov E.Yu., Zorin V.A. The Influence of Technological Modes on the Quality of Coatings Made of Powder Polymer-Composite Materials. *Polymer Science, Series D*. 2023; Vol. 16, No. 1: 89–93. DOI: <https://doi.org/10.1134/s1995421223010173>.
45. Kotomchin A.N. The effect of electrochemical processing on the strength of adhesion to the substrate during the restoration of vehicle parts working during hydroabrasive wear. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2022. 19(4): 546–559. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-4-546-559>. EDN PYNRLX.
46. Kotomchin A.N., Ljahov E.Ju., Zorin V.A. Improving the productivity and quality of applying polymer compositions during the restoration of seats for bearings of car units and road construction equipment. *Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tehnicheksogo universiteta (MADI)*. 2024; 2(77): 82–92 (In Russ.)

47. Kotomchin A.N., Zorin V.A. Studies of adhesive and wear-resistant properties of chrome coatings for car parts and road construction equipment restoration. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2023; 20(4): 458–473. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-4-458-473>. EDN: HIKZCC

48. Ianuta A.S., Kornejchuk N.I., Sinel'nikov A.F. Analysis of the use of electrolytes for the production of electrolytic Fe-Cr alloys in the restoration of machine and equipment parts]. *Vestnik Pridnestrovskogo universiteta. Serija: Fiziko-matematicheskie i tehnicheckie nauki. Jekonomika i upravlenie*. 2021; No 3(69): 101–106. (In Russ.)

49. Ianuta A.S. Investigation of the effect of deposition modes on the structure of an electrolytic binary Fe-Cr coating obtained from a sulfate-chloride electrolyte. *Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tehnicheckogo universiteta (MADI)*. 2022; 3(70): 17–21 (In Russ.).

50. Lanuta A.S., Shtefan Yu.V., Fiodorov V.K., Korneichuk N.I. Electrolytic coating of iron-chromium alloy of sulphate-chloride electrolyte in machine parts recovery process modelling. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2023; 20(2): 260–276. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-2-260-276>. EDN: CBHVWL

51. Ianuta A.S., Kornejchuk N.I. Investigation of the effect of deposition conditions on the chromium content in an electrolytic iron-chromium coating used to restore bearing seats. *Bulletin of Vologda State University*. 2024; 1(23): 72–76 (In Russ.).

ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ

Котомчин А.Н. Работа по аналитическому анализу результатов исследований с оформлением статьи.

Янута А.С. Проведение и анализ исследований железо-хромовых покрытий. Участие в оформлении статьи.

Ляхов Е.Ю. Работа по аналитическому анализу результатов исследований с оформлением статьи.

AUTHORS' CONTRIBUTION

Kotomchin A.I.N. Theoretical analysis, analysis of the research results, writing the manuscript.

Ianuta A.S. Conducting experiments, analyzing studies on iron-chromium coatings, writing the manuscript.

Lyakhov E.Y. Analysis of the research results, writing the manuscript.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Котомчин Алексей Николаевич – канд. техн. наук, доц. кафедры «Транспортно-технологические машины и комплексы» (3300, Молдова, Приднестровье, г. Тирасполь, ул. 25 Октября, 128).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4750-5255>,

SPIN-код: 9826-9350,

e-mail: aleshka81@list.ru

Янута Антон Сергеевич – ст. преподаватель кафедры «Транспортно-технологические машины и комплексы» (3300, Молдова, Приднестровье, г. Тирасполь, ул. 25 Октября, 128).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7134-6979>,

SPIN-код: 2532-4888,

e-mail: ianyta_anton@mail.ru

Ляхов Евгений Юрьевич – канд. техн. наук, доц. кафедры «Транспортно-технологические машины и комплексы» (3300, Молдова, Приднестровье, г. Тирасполь, ул. 25 Октября, 128).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6777-6899>,

SPIN-код: 3201-4938,

e-mail: sami77752@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kotomchin Aleksei N. – Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor of the Department of Transport and technological machines and complexes (3300, Moldova, Tiraspol, 128, 25-go Oktyabrya St.).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4750-5255>,

SPIN-code: 9826-9350,

e-mail: aleshka81@list.ru

Ianuta Anton S. – senior lecturer of the Department of “Transport and Technological machines and Complexes” (3300, Moldova, Tiraspol, 128, 25-go Oktyabrya St.).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7134-6979>,

SPIN-code: 2532-4888,

e-mail: ianyta_anton@mail.ru

Lyakhov Evgenii Yiu. – Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor of the Department of Transport and technological machines and complexes (3300, Moldova, Tiraspol, 128, 25-go Oktyabrya St.).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6777-6899>,

SPIN-code: 3201-4938,

e-mail: sami77752@gmail.com