

УДК 621.357

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-1-84-97>

К ВОПРОСУ ВЫБОРА СПОСОБА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

А.Н. Котомчин¹, А.Ф. Синельников¹, Н.И. Корнейчук²¹Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),
г. Москва, Россия;²Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко,
г. Тирасполь, Молдавия

АННОТАЦИЯ

Введение. В процессе эксплуатации автомобилей возникает потребность в качественном ремонте с минимальными затратами времени и ресурсов. Производится постоянный поиск путей снижения затрат на эксплуатацию автомобилей с помощью снижения затрат на покупку оригинальных запасных частей. Один из способов снижения затрат на запасные части – восстановление ресурсоопределяющих дорогостоящих деталей автомобилей. В связи с этим идёт поиск выбора оптимальных способов восстановления деталей машин, которые будут отвечать экономическим и техническим требованиям и у которых ресурс будет не менее новой запасной части. Целью работы является обоснование целесообразности использования при восстановлении деталей машин гальванических покрытий, в частности хромирования.

Материалы и методы. В результате данных исследований проведено обоснование целесообразности восстановления деталей машин гальваническими покрытиями и представлена методика выбора рационального способа восстановления деталей машин. Установлено, что у большого количества деталей износы находятся в интервале 0,1...0,5 мм, в результате чего может быть использован один из способов восстановления – износостойкими покрытиями электролитического хромирования.

Результаты. В результате оптимизации состава существующего холодного саморегулирующегося электролита появилась возможность расширения диапазона рабочих температур (до 35 °С), при котором возможно получение качественных покрытий с высокой производительностью.

Обсуждение и заключение. На основании полученных результатов исследований можно заключить, что в современных условиях производства и ремонта автомобилей для определённой номенклатуры ресурсоопределяющих деталей возможно использовать один из способов восстановления, а именно хромирование. Но для уменьшения затрат и увеличения производительности хромирования необходимо его усовершенствование путем оптимизации состава электролита и режимов электролиза.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: запасные части, оригинальные детали, восстановление, ресурс, сопряжение, износ, надёжность, хромирование, плотность тока.

Поступила 01.12.2019, принята к публикации 21.02.2020.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

БЛАГОДАРНОСТИ. Особая благодарность директору МУП «КоммуналДорСервис» В.И. Драненко за предоставленную площадку по исследованиям данных по эксплуатации техники на предприятии, предоставлении материалов для исследований по износу деталей дорожно-строительных машин, специализированного автотранспорта. Также благодарность Министерству экономического развития ПМР за финансирование научно-исследовательской лаборатории «Реновация машин и оборудования» Приднестровского государственного университета им. Т.Г. Шевченко и Государственного заказа, в рамках которого производились данные исследования. Благодарность рецензентам статьи.

Для цитирования: Котомчин А.Н., Синельников А.Ф., Корнейчук Н.И. К вопросу выбора способа восстановления деталей машин. Вестник СибАДИ. 2020; 17 (1): 84-97. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-1-84-97>

© Котомчин А.Н., Синельников А.Ф., Корнейчук Н.И.



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-1-84-97>

RESTORATION OF MACHINE PARTS: CHOICE OF THE METHOD

Aleksei N. Kotomchin¹, Anatoly F. Sinelnikov¹, Nikolai I. Korneychuk²

¹Moscow State Automobile and Highway Technical University (MADI),
Moscow, Russia;

²Pridnestrovian State University. named after T.G. Shevchenko,
Tiraspol, Moldavia

ABSTRACT

Introduction. In the process of operation of cars there is a need for quality repairs with minimal time and resources. There is a constant search for ways to reduce the cost of operating cars by reducing the cost of buying original spare parts. One way to reduce the cost of spare parts is the restoration of resource-defining expensive car parts. In this regard, there is a search for the selection of optimal ways to restore machine parts that meet the economic and technical requirements and which have a resource of a new spare part. The purpose of the research is to substantiate the feasibility of using galvanic coatings in particular chrome plating in the restoration of machine parts.

Materials and methods. The authors proved a rationale recovery of parts of machines galvanized coating and the method of choice of the rational restoration of car details. Moreover, the authors established that a large number of parts are in the range of 0.1...0.5 mm, as a result, the authors used wear-resistant coatings of electrolytic chrome plating.

Results. As a result of optimizing the composition of the existing cold self-regulating electrolyte, the authors expanded the operating temperature range (up to 35 °C), at which it was possible to obtain high-quality coatings with high performance.

Discussion and conclusions. The authors conclude that in modern conditions of the car production and repair and for certain nomenclature of resource-defining details, it is possible to use one of the restoration ways, namely, chrome plating. In order to reduce costs and increase the performance of chrome plating, it is necessary to improve it by optimizing the electrolyte composition and electrolysis modes.

KEYWORDS: spare parts, original parts, restoration, resource, coupling, wear, reliability, chrome plating, current density.

Submitted 01.12.2019, revised 21.02.2020.

The 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.

ACKNOWLEDGEMENTS. The authors express their gratitude to V.I. Dranenko, the Director of the "Communal DorServis", for providing a platform of the research data manual in the enterprise and providing materials for research of the road-building machinery and specialized vehicles. Also thanks to the Ministry of Economic Development of the PMR for funding the "Renovation of machinery and equipment" research laboratory in the Pridnestrovian State University named after T.G. Shevchenko. Special thanks to the reviewers of the paper.

For citation: Kotomchin Aleksei N., Sinelnikov Anatoly F., Korneychuk Nikolai I. Restoration of machine parts: choice of the method. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020; 17(1):84-97. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-1-84-97>

© Kotomchin A. N., Sinelnikov A. F., Korneychuk N. I.



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

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время увеличилась номенклатура марок и моделей автомобилей, эксплуатирующихся в России. На данный момент в России, как и в странах ближнего зарубежья, недостаточная производственно-технологическая база, которая могла бы обеспечить качественный ремонт автомобилей и агрегатов. Данная брешь привела к увеличению расходов на техническую эксплуатацию техники, так как всё время приходится собственными силами проводить ремонт на устаревшем, не отвечающем современным требованиям оборудовании, с использованием новых деталей, которые не всегда являются оригинальными (заводскими). При использовании неоригинальных деталей снижается ресурс агрегатов и автомобиля в целом, что приводит к частым простоям в ремонте, увеличивая тем самым себестоимость грузовых и пассажирских перевозок.

Известно, что повышение эффективности использования автомобилей и содержание их в работоспособном состоянии требует совершенствования ремонтно-обслуживающей базы путем увеличения мощностей и развития сети специализированных ремонтных предприятий по ремонту как отечественных, так и иностранных автомобилей, а также по восстановлению их оригинальных ресурсопределяющих деталей¹.

Известно, что стоимость запасных частей в структуре себестоимости капитального ремонта машин достигает в целом 48–70%, которая увеличивается, как правило, с повышением конструктивной сложности машин (например, для КамАЗ-5540 – 60,6%, ГАЗ-3309 – 61,1%, мусоровоз Мерседес Бенц Есоpic – 66,2%) [1, 2]. Поэтому замена новых деталей на восстановленные детали позволит в значительной степени снизить себестоимость ремонта машин.

Восстановление изношенных деталей машин и оборудования — технически обоснованное и экономически оправданное мероприятие. Оно позволяет предприятиям, эксплуатирующим и обслуживающим автомобили, сокращать время простоя на устранение

неисправной техники, повышать качество её технического обслуживания и ремонта, положительно влиять на улучшение показателей надежности в процессе технической эксплуатации автомобилей.

Также обосновывается целесообразность организации работ по восстановлению и упрочнению деталей снижением себестоимости и повышением ресурса отремонтированных как агрегатов, так и машин в целом за счет сокращения затрат на приобретение новых запасных частей и сокращения производственных расходов при эксплуатации машин на предприятиях [2].

Исследования В.И. Черноиванова состояния качества деталей ремонтируемых машин² [3] позволили установить, что во многих случаях доля одноименных деталей, годных для дальнейшей эксплуатации без ремонта, составляет 20–45%; подлежащих ремонту и восстановлению – 40–60%, не пригодных для восстановления – 9–20%. Данная статистика характеризует качество базовых и корпусных деталей (включая блоки и головки цилиндров, коленчатые валы, шатуны, корпуса водяных насосов и другие детали), что свидетельствует о высокой интенсивности их замены.

С другой стороны, значительные объемы ремонтного фонда деталей содержат большое количество остаточного общественного труда, пренебрегать которым в условиях острого дефицита многих оригинальных запасных частей считается нецелесообразным.

По данным³, при восстановлении деталей число операций сокращается в 5–8 раз, а расход металла и материалов в 20–30 раз по сравнению с изготовлением новых.

Увеличение объемов восстановления деталей в условиях России позволит существенно снизить затраты на приобретение запасных частей, а следовательно и себестоимость ремонта машин. Данная стратегия обоснована отсутствием централизованных поставок оригинальных запасных частей, увеличенным количеством контрафактных деталей машин, отсутствием достаточного финансирования на снабжение и покупку новых деталей, у ко-

¹ Черноиванов В. И. Восстановление деталей машин (состояние и перспективы). М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2010. 376 с.

² Поддержание и восстановление работоспособности строительных и дорожных машин с учетом их наработки с начала эксплуатации: отчет о НИР / Белорусско-Российский университет; рук. темы А.Н. Максименко. Могилев, 2010. 60 с. № ГР 20100278.

³ Мрочек Ж.А., Кожуро Л.М., Филонов И.П. Прогрессивные технологии восстановления и упрочнения деталей машин. Мн. : УП «Технопринт», 2000. 268 с.

торых стоимость высокая из-за логистических проблем⁴.

Объективной необходимостью организации работ по восстановлению особенно ресурсоопределяющих изношенных деталей является потребность обеспечения высокого качества отремонтированной техники. Для этого необходимо восстановить их геометрические параметры с обеспечением заданного ресурса. Так, по двигателям внутреннего сгорания – это блоки и головки цилиндров, коленчатые и распределительные валы, шатуны. По шасси – несущие элементы, корпуса трансмиссии, детали ходовой части. По деталям машин, работающих при гидроабразивном изнашивании, – золотники, корпуса золотников, плунжера и т.д.⁵.

При ремонте и восстановлении деталей может производиться их модернизация: улучшаться геометрия посадочных и сопрягаемых деталей; повышаться твердость и износостойкость рабочих поверхностей путем наплавки, напыления, нанесения гальванических, полимерных покрытий, что позволит достигать не только исходного ресурса деталей, но и превышать его⁶.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Обоснованию выбора рационального способа восстановления изношенных деталей машин посвящено множество работ. Так, П.И. Згирский предлагает определять эффективность восстановления деталей машин по формуле:

$$З_v = \frac{C_v}{T_v} \leq З_n = \frac{C_n}{T_n}, \quad (1)$$

где $З_v$, $З_n$ – удельные стоимостные измерители новых и восстановленных деталей на единицу ресурса, руб./ед. ресурса; C_n – цена новой детали, руб.; C_v – оптовая цена восстановленной детали, руб.; T_n – ресурс новой детали, мото-час, км, усл. га и т. д.; T_v – ресурс восстановленной детали, мото-час, км, усл. га и т. д.

А.С. Лебедев, Р.М. Петухов и М.Я. Шухгалтер рекомендуют определять эффективность восстановления деталей, пар трения оценивать по формуле:

$$\frac{C_{в.в} + C_{в.п}}{K_v} \leq \frac{C_{и.в} + C_{и.п}}{K_n}, \quad (2)$$

где $C_{в.в}$, $C_{в.п}$ – себестоимости восстановления вала и подшипника, руб.; $C_{и.в}$, $C_{и.п}$ – себестоимости изготовления сопряжения, руб.; K_v , K_n – коэффициенты износостойкости деталей сопряжения.

В работе [4] рекомендуют оценивать эффективность восстановления деталей по формуле

$$\frac{C_v + E_n \cdot K_{y\partial}}{T_v} \leq \frac{C_n}{T_n}, \quad (3)$$

где $C_v + E_n \cdot K_{y\partial}$ – полные затраты производства на восстановление детали, руб.; C_v – себестоимость восстановленной детали, руб.; E_n – нормативный коэффициент эффективности; $K_{y\partial}$ – удельные капитальные вложения; C_n – цена новой детали, руб.; T_v , T_n – срок службы восстановленной и новой детали, мото-час.

Из приведенных методик ни одна по существу не связывает ресурсы восстановленных деталей с нормативными ресурсами. Анализ этих формул показывает, что имеется сколько угодно вариантов восстановления деталей, когда при малом значении $C_v + E_n \cdot K_{y\partial}$ можно получить также малое значение себестоимости восстановленной детали C_v . При этом левая часть уравнения (3) будет меньше правой. Следовательно, имеет место множество решений, когда будет считаться, что восстановление эффективно, а на самом деле оно может быть неэффективным из-за многих как технических, так и экономических проблем.

Для того чтобы избежать данных ошибок, нужно в формулы вводить ограничивающие решения слева, т. е. преобразовать их в вид

$$C_n > C_v + E_n \cdot K_{y\partial}. \quad (4)$$

При этом

$$\frac{T_v}{T_n} \geq k_p^H, \quad (5)$$

где k_p^H – нормативный коэффициент восстановления ресурса детали.

⁴ Пантелеенко Ф.И. и [др.]. Восстановление деталей машин. М.: Машиностроение, 2003. 672 с.

⁵ Носенко А.С., Домницкий А.А. Исследование надежности и совершенствование конструкций контейнерных мусоровозов // Погрузочно-транспортные, строительные-дорожные и коммунальные машины. Технический сервис и конструкции: сб. науч. тр. Шахтинский ин-т ЮРГТУ. Новочеркасск: ЮРГТУ, 2004. С. 19–24.

⁶ Носенко А.С., Домницкий А.А. Исследование надежности и совершенствование конструкции контейнерных мусоровозов // Там же. С. 19–24.

Введение данного условия необходимо для того, чтобы в производство внедрить технологические процессы восстановления, не обеспечивающие восстановление заданных ресурсов. Например, коэффициент ресурса гильзы должен быть установлен не менее 0,6⁷.

Было принято, что в составе отремонтированных (в текущем или капитальном ремонте) машин и механизмов могут одновременно присутствовать новые, восстановленные и частично изношенные детали, но годные к дальнейшей эксплуатации. Точность работы механизмов таких машин определяют допусками на размеры, формы, взаимные расположения поверхностей новых, восстановленных деталей и допускаемыми износами для деталей, бывших в эксплуатации, но годных для дальнейшей работы. Долговечность же регламентируют в основном долговечностью восстановленных деталей, сопряжений и остаточными ресурсами составных частей, бывших в эксплуатации. Следовательно, межремонтные сроки, нормы расхода сменных деталей в процессе эксплуатации меняются. Так, например, анализ изменения ресур-

сов гильз цилиндров, поршней, поршневых пальцев, шестерен коробки передач тракторов показал, что ресурсы деталей двигателя и трансмиссии за нормативный срок службы машин сокращаются более чем в три раза⁸. Также меняется и расход деталей на ремонт, и техническое обслуживание. Обычно расход деталей в начале эксплуатации относительно невелик, но по мере увеличения наработки он возрастает, превышая первоначальное значение в несколько раз [4].

В результате исследований было получено, что при смене деталей в процессе эксплуатации и последовательном ремонте (текущем и капитальном) машин изменяются не только средние значения ресурсов, но и их рассеивание (рисунок 1), характеризуемое коэффициентом вариации. Эта величина – функция многих переменных факторов: состояния машин, поступивших на ремонт технического и организационного уровня ремонтного производства; вида ремонта; режима заводских испытаний и эксплуатационной обкатки; качества запасных частей и восстановленных деталей.

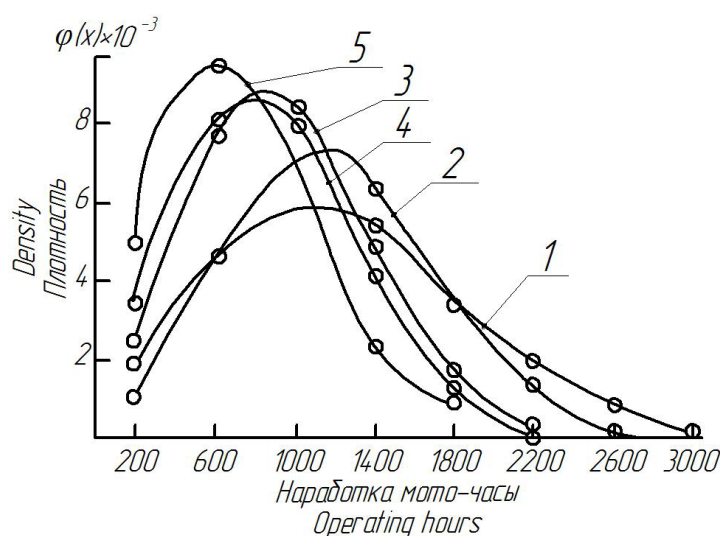


Рисунок 1 – Распределение ресурсов последовательно состоянию детали:
1, 2, 3, 4 и 5 – ресурсы детали после первой, второй, третьей, четвертой и пятой замен⁹

Figure 1 – Allocation of resources according to the part's state:
1, 2, 3, 4 and 5 – resources of the part after the first, second, third, fourth and fifth replacements⁹

⁷ Косинова М.С., Косинова М.С. Проблемы организации технического обслуживания и ремонта машин для сбора и вывоза твердых бытовых отходов // Исследования в области конструирования, рабочих процессов и эксплуатации технологических машин: сб. науч. тр./ Шахтинский ин-т (филиал) ЮРГТУ (НПИ). Новочеркасск : УПЦ «Набла» ЮРГТУ (НПИ), 2006. С. 99–104.

⁸ Исследования в области конструирования, рабочих процессов и эксплуатации технологических машин: сб. науч. тр. Шахтинский ин-т (филиал) ЮРГТУ (НПИ). Новочеркасск : УПЦ «Набла» ЮРГТУ (НПИ), 2004. С. 99–104.

В таблице 1 приведены данные по рассеиванию ресурсов агрегатов автомобилей после ремонта (данные М.Г. Корогодского и З.В. Потиевского⁹).

Таблица 1
Рассеивание ресурсов агрегатов автомобилей

Table 1
Dispersion of the car units' resources

Агрегаты	До первого капитального ремонта		Между капитальными ремонтами	
	размер партии	коэффициент вариации	размер партии	коэффициент вариации
Двигатель ЗМЗ-53	221	0,34	862	0,70
Двигатель ЗИЛ-130	62	0,24	614	0,75
Коробка передач ГАЗ-53	216	0,37	276	0,84
Задний мост ЗИЛ-130	95	0,33	147	0,76

Многолетние наблюдения за отремонтированными машинами и анализ их работы позволили установить средние значения коэффициентов вариации ресурсов деталей и коэффициенты восстановления ресурсов сменных деталей (таблица 2).

Таблица 2
Коэффициенты вариации и восстановления ресурсов сменных деталей

Table 2
Coefficients of variation and resource recovery of replacement parts

Элементы конструкции	Коэффициент вариации	Коэффициент восстановления ресурса сменных деталей	
		существующий	для проектирования
Детали гильзо-поршневой группы двигателей	0,3	0,6	0,8
Коленчатый вал	0,4	0,6	0,8
Звенья гусениц (по излому)	0,6	0,9	0,9
Корпусные детали	0,6	0,7	0,9
Шлицевые детали	0,5	0,7	0,8

Как следует из таблицы 2, межремонтные коэффициенты вариации ресурсов деталей значительно отличаются от доремонтных ресурсов по изложенным выше причинам. Следовательно, при нормировании коэффициентов восстановления ресурсов данных деталей нужно сопоставлять ресурс восстановленной детали, поставленной в новый агрегат, с ресурсом новой детали или ресурс новой детали, поставленной в отремонтированный агрегат, с ресурсом восстановленной детали, поставленной также в отремонтированный агрегат. Без этого можно допустить серьезную ошибку

при оценке качества восстановленных деталей. Значительное влияние на ресурс такой детали оказывает то, в каком сочетании она ставится в сборочную единицу или агрегат.

В процессе ремонта восстановленные поверхности деталей могут сопрягаться как с новыми, так и с восстановленными поверхностями, с допустимыми при ремонте размерами. Исследования [4], проведенные для различных вариантов сочетания сопряжений, показали, что постановка в сборочную единицу новой детали с бывшей в эксплуатации снижает ресурс сопряженных деталей на 11,0–56,4%.

⁹Корогодский М.В., Потиевский З.Л. Анализ влияния качественных факторов на показатели надежности. «Надежность и контроль качества», Киев, 1969, № 10.

Наибольшую скорость износа имеют сопряжения, собранные из новых (или восстановленных) деталей и деталей, параметры которых близки к выбракованным. Поэтому оценку эффективности восстановленных деталей по рекомендациям академика А.И. Черноиванова предпочтительно проводить по преобразованной формуле:

$$\frac{(C_{в.в}+E \cdot K_{уд})+(C_{в.п}+E \cdot K_{уд})}{k_c \cdot T_n} \leq \frac{U_{н.в}+U_{н.п}}{T_n}, \quad (6)$$

где $k_c = T_g/T_n$ – коэффициент восстановления ресурса сопряжения.

Нужно иметь в виду, что коэффициенты восстановления ресурса сопряжений должны быть определены для случаев, когда условия работы новой и восстановленной детали сопоставимы.

Так долговечность зависит от скорости или интенсивности изнашивания (ГОСТ 23.002–98). Тогда в формулу (6) вместо ресурса можно ввести, например, интенсивность износа, а критерием оценки восстановления ресурса сопряжения будет являться относительная износостойкость сопряжения. При этом необходимо помнить, что износ различных сопряжений зависит от изменения их пространственного положения и формы.

Ресурсы деталей или сопряжений определяют по данным эксплуатационных наблюдений или испытаний. По этим данным могут быть рассчитаны функции плотности распределения наработки деталей и определены показатели надежности деталей; вероятность безотказной работы, средняя наработка до отказа, гамма-процентный ресурс и т.п.

Известно, что повышение качества и снижение себестоимости ремонта машин тесно связано с применением восстановленных деталей, благодаря чему объемы восстановления деталей будут возрастать. Это приводит к тому, что надёжность восстановленных деталей становится одним из важнейших факторов, формирующих качество отремонтированных машин в целом. Также один из важнейших показателей качества восстановленной детали – стабильность конструктивно-технологических характеристик и точность параметров. В свою очередь стабильность характеристик детали зависит от выбора способа восстанов-

ления. В практике восстановления деталей на качество параметров ее восстановления мало обращают внимания и в расчетах эффективности восстановления не учитывают. Более того, как правило, оценку износостойкости даже новых деталей проводят по ее среднему значению, испытывая при этом не более трех деталей. Тем самым допускают существенную ошибку в оценке качества. При оценке эффективности восстановления не всегда учитывается качество восстановления деталей.

Поэтому при производстве современных автомобилей возникает необходимость расширения научно-исследовательских работ, связанных с разработкой и внедрением технологических процессов упрочнения и восстановления деталей имея в виду, что срок службы восстановленных должен составлять не менее 80% срока службы новых таких деталей [5].

Одним из перспективных направлений в развитии ремонтного производства является применение гальванических способов восстановления изношенных деталей машин. Этому способствует современная тенденция уменьшения величины предельных износов сопряжений деталей, благодаря неуклонному совершенствованию машиностроительных конструкций. Так, по данным ГОСНИТИ (ВИМ) и некоторых исследователей [6], в настоящее время у большинства автотракторных деталей, поступающих в ремонт, износ поверхностей трения составляет 0,1...0,5 мм. Многочисленными исследованиями доказано, что экономически целесообразно наращивать электролитическими покрытиями слой металла от нескольких микрометров до 0,5 мм, такие как хромирование, железнение, никелирование, цинкование, кадмирование и др.

Известно, что наиболее высокими физико-механическими и химическими свойствами (твёрдостью, износостойкостью, коррозионной стойкостью, жаростойкостью и др.) обладают хромовые покрытия, а хромированные детали – повышенной надёжностью¹⁰.

Однако существующая технология восстановления автотракторных деталей хромированием в универсальном электролите до настоящего времени не получила широкого распространения в ремонтном производстве из-за следующих причин: низкой производи-

¹⁰ Петров Ю.Н., Малянов В.Н., Корнейчук Н.И. Прогрессивные способы восстановления деталей машин и повышения их прочности // Межвузовский сборник научных трудов. Кишинев: Кишиневский сельскохозяйственный институт им. М.В. Фрунзе, 1979. С. 48–51.

тельности процесса (25...60 мкм/час); низкого выхода хрома по току (12–16%); малой толщины качественного слоя осадка (до 0,2 мм); высокой токсичности, агрессивности и неустойчивости состава в растворе и др. Поэтому в ремонтном производстве восстановлению хромированием подвергают узкую номенклатуру наиболее ответственных деталей, работающих в условиях высокой температуры и недостаточной смазки [7, 8].

Изыскание условий электролиза, позволяющих повысить производительности и экономичности процесса хромирования, получение большей толщины наращиваемого слоя качественных осадков хрома, а также улучшение условий труда при обслуживании ванн хромирования является актуальной проблемой ремонтного производства.

По вопросам рационального использования электролитического хрома в машиностроении и ремонтном производстве посвящены работы Ю.Н. Петрова, В.И. Лайнера, Н.Т. Кудрявцева¹¹ и др.

Авторами [9, 10, 11, 12] выявлено, что при применении хромовых покрытий увеличиваются межремонтные сроки службы автомобилей, тракторов, железнодорожного транспорта, судовых и тепловозных двигателей, станочного оборудования и значительно улучшаются технико-экономические показатели машин. Номенклатура деталей автомобилей и тракторов, восстанавливаемых хромированием, постоянно расширяется.

По данным исследований [13], хромирование цилиндров повышает пробег между заменами гильз в 2 раза и уменьшает износ колец в 2-3 раза даже в условиях использования горюче-смазочных материалов с повышенным содержанием серы.

Срок службы хромированных валов (коренных и шатунных шеек) увеличивается в 3–5 раз, а у высокооборотных малолитражных двигателей – до 10 раз [13].

В исследованиях Ю.Н. Петрова приводятся данные о повышении износостойкости коленчатых валов автотракторных двигателей в 4–10 раз по сравнению с нехромированными.

По проведённым исследованиям М.П. Стратулат [13], хромированные прецизионные детали топливных насосов с хромированными плунжерами работали в течение 4 сезо-

нов. Детали серийного производства за это время были заменены 2–3 раза. Если учесть, что сталь ХВГ, применяемая для изготовления плунжеров, относится к дорогостоящим и труднообрабатываемым материалам, то замена ее углеродистой сталью 45 может иметь дополнительную экономию.

Авторы А.Н. Котомчин, Е.Ю. Ляхов также считают, что восстановление деталей работающих при гидроабразивном изнашивании (плунжера, золотники и др.) хромированием экономически целесообразно. Ускоренные лабораторные испытания и опыт эксплуатации показывают, что среди всех способов восстановления плунжерных пар, золотников гидрораспределителей хромирование занимает ведущее место по надёжности отремонтированных деталей [14].

Однако производительность процесса хромирования – выход хрома по току и скорость наращивания слоя – не удовлетворяет возросшие требования производства на современном уровне развития машиностроения и ремонта. Поэтому наряду с хромированием разработаны и совершенствуются другие более высокопроизводительные и экономичные гальванические процессы, среди которых (с точки зрения ремонтного производства) наибольшее внимание привлекает железнение и сплавы на его основе [15]. Тем не менее интенсификация процесса хромирования и улучшение физико-механических свойств хромовых покрытий является актуальной проблемой ремонтного производства. Её решение затрудняется вследствие специфики катодного процесса при электролизе хромовокислых растворов, выяснение которой составляет сложную задачу электрохимии [16]. До конца неясен вопрос о природе переноса электронов из металла к отрицательно заряженным хромат-ионам, какая роль обильно выделяющегося водорода на катоде в общей реакции восстановления хромовой кислоты, почему возможна реакция полного восстановления хромат-ионов только в присутствии посторонних кислотных радикалов и др.

За прошедшие два десятилетия теория электролитического осаждения хрома получила дальнейшее развитие и накоплен богатый опыт его практического применения, что обуславливает возможность значительной ин-

¹¹ Петров Ю.Н., Малянов В.Н., Корнейчук Н.И. Прогрессивные способы восстановления деталей машин и повышения их прочности // Межвузовский сборник научных трудов. Кишинев: Кишиневский сельскохозяйственный институт им. М.В. Фрунзе, 1979. С. 48–51.

тенсификации процесса хромирования и улучшения физико-механических свойств осадков [17, 18, 19, 20].

По мнению М.А. Шлугера, Ю.Н. Петрова, Н.Т. Кудрявцева¹² развитие и совершенствование электролитического хромирования должны осуществляться по двум основным направлениям:

1. Совершенствование существующих и изыскание новых электролитов, обеспечивающих получение хромовых покрытий более высокого качества.

2. Совершенствование существующих и изыскание новых технологических приемов электроосаждения хрома, обеспечивающих повышение производительности процесса и улучшение его физико-механических свойств.

В результате выше изложенных материалов по использованию хромирования при восстановлении и упрочнении деталей машин был выявлен ряд недостатков, которые предлагаются решить использованием холодного саморегулирующегося электролита хромирования, разработанного учеными Кишиневского сельскохозяйственного института (ныне Аграрного университета Молдовы) [21]. Он отличается высокой рассеивающей способностью и производительностью процесса, повышенной стабильностью в широком диапазоне рабочих плотностей тока и малой агрессивностью. Данный электролит обеспечивает нанесение качественных, износостойких покрытий со скоростью 0,20–0,70 мм/ч в широком диапазоне плотностей катодного тока (75–300 А/дм²), с максимальным значением выхода металла по току (до 40±1%), микротвердостью покрытий до 9000±200 МПа и практически не изменяется с неизменяющимися по толщине физико-механическими свойствами покрытия.

Однако данный электролит обладает недостатком – малый диапазон рабочих температур (18–23 °С), при которых можно получить качественные покрытия, требует использовать мощные холодильные установки, что затрудняет его промышленное внедрение.

Для решения данной проблемы в научно-исследовательской лаборатории «Реновация машин и оборудования» Приднестровского государственного университета им. Т.Г. Шевченко проводились исследования по оптимизации состава существующего холодного саморегулирующегося электролита с целью расширения диапазона рабочих температур

процесса электролиза, с сохранением производительности гальванической ванны.

Исследования проводились в ванне емкостью 2 л с использованием следующего оборудования и приборов: источник постоянного тока (трёхфазный выпрямитель), бак для поддержания температуры в ванне с электролитом, пусковая, регулировочная и контрольно-измерительная аппаратура, ванна для электрохимического травления поверхностей образцов (деталей) перед хромированием. Хромовые покрытия наносились на образцы, изготовленные из стали 45 диаметром 12 мм, длиной 10, 13, 20 мм: площадью 0,0375 и 0,05 дм² – для определения выхода хрома по току; площадью 0,075 см² – для измерения микротвердости осадков при толщине покрытия 100 ± 5 мкм.

Перед хромированием все образцы тщательно обезжиривались венской известью, промывались проточной, а затем дистиллированной водой и взвешивались с точностью до 0,0001 г. Затем они закреплялись в специальной подвеске, повторно обезжиривались венской известью, промывались и завешивались в ванну хромирования.

При отработке оптимального состава электролита концентрация хромового ангидрида изменялась от 250 до 450 г/л, через 50 г/л; количество углекислого кальция – 40–80 г/л, через 5 г/л (в растворе с концентрацией CrO₃ – 400 г/л и температуре 20±0,5 °С); также было предложено заменить более дорогой сернокислый кобальт на менее сернокислый никель, который добавлялся в количестве 12–20 г/л, через каждые 2,5 г/л.

Влияние температуры на выход хрома по току и микротвердость покрытий, полученных в оптимальном составе электролита, изучалось в интервале от 20 до 35 °С, через 2,5... 5 °С.

В оптимальный состав электролита вводилась неорганическая добавка БПФК-19 следующей концентрации, г/л: 0,5...5.

Катодная плотность (D_k) тока изменялась от 10 А/дм² до предельно допустимой, через разные интервалы: 10, 15, 30 и 60 А/дм² (по необходимости). За предельно допустимую плотность тока принималась та, при которой появлялось местное растрескивание и отшелушивание осадков на образцах в 4–5 опытах.

¹² Кудрявцев В.Н., Солодкова Л.Н. Электролитическое хромирование. М.: Глобус, 2007. 193 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследования нового состава электролита показали, что при электролизе постоянным током замена сернокислого кобальта сернокислым никелем обусловила не только повышение выхода хрома по току, но и возможность хромирования при более высоких рабочих температурах (рисунок 2).

В состав электролита исследования вошли следующие составляющие: хромовый ангидрид (CrO_3) 400 – 420 г/л, углекислый кальций (CaCO_3) 50 – 52 г/л, сернокислый никель ($\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 16 – 18 г/л, неорганическая добавка БПФК-19 0,7 – 1,0 г/л.

В результате электролиза в диапазоне рабочих температур 25 – 35 °С, плотности тока D_k в пределах от 50 до 150 А/дм² наблюдались постоянные значения выхода хрома по току (40±1%), а микротвердость осадков составляла 850 – 930 кг/мм². Скорость осаждения хро-

ма при этом в зависимости от D_k изменялась в пределах от 100 до 350 мкм/час (рисунок 2).

Результатом изучения трещиноватости и определения микротвердости осадков по толщине подвергалось поперечное сечение средней части образцов. После механической обработки шлифы протравливались по известной методике. Микроструктура шлифов изучалась на металлографическом микроскопе ММУ-3 с цифровым окуляром (с увеличением 2,08х) при 250, 625 и 1000-кратном увеличении. Микротвердость измерялась по толщине слоя в радиальном направлении.

Металлографическими исследованиями установлено, что осадкам хрома, полученным предлагаемым способом в диапазоне $D_k = 75 \dots 150$ А/дм², присуща трещиноватость (рисунок 3). Все трещины, наблюдаемые по всему поперечному сечению покрытия, микроскопические, ориентированные в большинстве случаев в радиальном направлении.

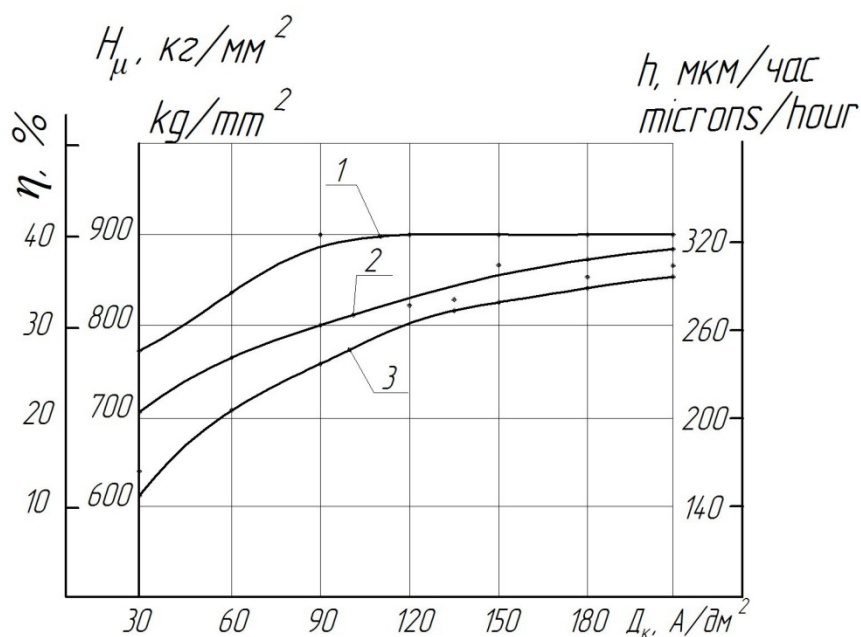


Рисунок 2 – Влияние катодной плотности постоянного тока на выход хрома по току – 1, микротвердость покрытий – 2 и скорость их осаждения – 3 в электролите с ионами никеля и неорганической добавки БПФК-19 при температуре 25–35 °С

Figure 2 – Influence of DC cathode density on chromium current output – 1, coating microhardness – 2 and deposition rate – 3 in electrolyte with Nickel ions and inorganic additive BPFC-19 at temperature of 25–35 °C

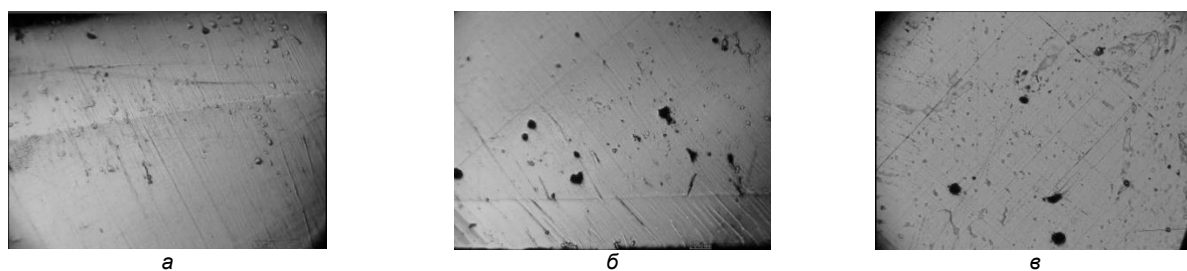


Рисунок 3 – Микрошлифы хромовых покрытий, полученных при электролизе постоянным током в электролите с ионами Ni^{2+} , при 625-кратном увеличении:
а – $D_k=75$ А/дм² при толщине осадка 140 мкм;
б – $D_k=100$ при толщине осадка 200 мкм; в – $D_k=150$ при толщине осадка 250 мкм

Figure 3 – Microscopes of chrome coatings obtained by direct current electrolysis in an electrolyte with Ni^{2+} ions at 625x magnification: а – $D_{k=75}$ A/dm² at a thickness of 140 microns; б – $D_{k=100}$ A/dm² a thickness of 200 microns; в – $D_{k=150}$ A/dm² of the 250 microns thickness

Глубина дефектов (за редким исключением) 5...20 мкм. Только у подложки трещины либо отсутствуют, либо их по всему периметру незначительное количество.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведённого анализа выбора способа восстановления деталей автомобилей можно заключить следующее: в результате совершенствования производства деталей машин улучшения качества материалов и покрытий сопрягаемых деталей, уменьшения допусков при изготовлении деталей снижается величина предельного износа деталей.

Так как многие ресурсопределяющие детали машин имеют износы в пределах 0,1...0,5 мм, появляется возможность использовать хромирование, при упрочнении и восстановлении. Однако хромирование имеет ряд проблем при использовании из-за низкой производительности процесса, возможной максимальной толщиной покрытия и технологических сложностей организации процесса.

Поэтому для решения данной проблемы проведены исследования по оптимизации состава существующего холодного саморегулирующегося электролита хромирования, которые позволяют расширить диапазон рабочих температур до 35 °С без снижения производительности и качества хромового покрытия, что в свою очередь даёт возможность внедрения его в производство.

Также была изучена микроструктура покрытых образцов, которая показала, что осадки

имеют минимальное количество микротрещин как снаружи, так и вдоль слоя по толщине. В результате чего возможно использовать данный электролит при восстановлении деталей, работающих при гидроабразивном изнашивании (золотники, плунжера и т.д.).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мухаметшина Р.М. Отказы дорожно-строительных машин по параметрам коррозии // Известия КГАСУ. 2013. № 4 (26). С. 403–408.
2. Густов Ю.И. Исследование конструкционно-технологических и эксплуатационных показателей строительной техники // Известия КГАСУ. 2014. № 4 (30). С. 470–475.
3. Мухаметшина Р.М. Трибологические отказы дорожно-строительных машин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Том 18. 2016. № 1(2). С. 252–255.
4. 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.
5. Котомчин А.Н., Ляхов Е.Ю. Восстановление деталей узлов и агрегатов техники, работающих при гидроабразивном изнашивании // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2019. № 5. С. 8–12.
6. 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. № 130. С. 254–265.
7. Елинек Т.В. Успехи гальванотехники. Обзор мировой специальной литературы за 2017–2018

годы // Гальванотехника и обработка поверхности. Том 27. 2019. № 3. С. 4–14.

8. Елинек Т.В. Успехи гальванотехники. Обзор мировой специальной литературы за 2016–2017 годы // Гальванотехника и обработка поверхности. Том 26. 2018. № 1. С. 4–10.

9. Bolch T., Linde R., Metzner M., Müll K. Innovative Oberflächenstrukturen durch elektrochemische Beschichtungsverfahren // *Galvanotechnik*. 2005. № 103. pp. 2095–2100.

10. Distelrath A. Jakob, C. Investigation of structured electrodeposition of hard chromium coatings // *Information technology and electrical engineering - devices and systems, materials and technologies for the future*. Ilmenau: 2009. pp. 379.

11. Distelrath-Lübeck A. Untersuchung des Einflusses von Methansulfonsäure auf die Chromabscheidung aus Chromsäure-elektrolyten // *Galvanotechnik*. 2011. № 102. pp. 2647–2657.

12. Metzner M., Bolch T., Linde R., Müll K. Nasse Kombinationen – Funktionelle Oberflächen durch elektrochemische In-situ-Strukturierung // *Metalloberfläche*. 2003. № 57. pp. 18–22.

13. Стратулат М.П. Восстановление деталей машин электрохимическим хромированием: монография. Орел: ОрелГТУ, 2009. 246 с.

14. Графушин Р.В., Винокуров Е.Г., Махина В.С., Бурухина Т.Ф. Электроосаждение и физико-механические свойства композиционных покрытий на основе хрома с различными модификациями углерода // *Гальванотехника и обработка поверхности*. 2018. № 2 (26). С. 26–32.

15. Смирнов К.Н., Архипов Е.А., Кравченко Д.В. К вопросу о кроющей способности электролитов // *Гальванотехника и обработка поверхности*. 2015. № 3 (23). С. 30–34.

16. Шишурин С.А., Семочкин В.С., Сафонов В.В., Гурьев А.Е. Структура и физико-механические свойства композиционных гальванохимических покрытий // *Вестник АПК Ставрополя*. 2014. № 3. С. 77–80.

17. Кругликова Е.С., Кругликов С.С., Некрасова Н.Е. О микрорассеивающей способности электролитов хромирования // *Гальванотехника и обработка поверхности*. 2016. № 3 (24). С. 4–9.

18. Петроченкова И.В., Помогаев В.М., Волкович А.В. Влияние условий электролиза на рассеивающую способность электролитов хромирования // *Изв. вузов: Химия и химическая технология*. 2009. Т. 52. № 6. С. 54–57.

19. Петроченкова И.В., Помогаев В.М., Волкович А.В. Особенности влияния температуры на рассеивающую способность электролитов // *Сб. научных трудов: Успехи в химии и химической технологии*. М. 2004. Т. 18. С. 42–44.

20. Петроченкова И.В., Помогаев В.М., Волкович А.В., Шувакин А.Е. Прогнозирование равномерности осаждения гальванических покрытий // *Изв. вузов: Химия и химическая технология*. 2007. № 3. С. 103–107.

21. Корнейчук Н.И., Ковбасюк А.В., Лисник А.В. Влияние концентрации трехвалентных соединений хрома на некоторые параметры холодного хромирования // *Труды Кишиневского СХИ*. 1975. № 144. С. 17–23.

REFERENCES

1. Muhametshina R.M. Otkazy dorozhno-stroitel'nyh mashin po parametram korrozii [Failure of road-building machine according to the parameters of corrosion]. *Izvestija KGASU*. 2013; 4 (26): 403–408 (in Russian).

2. Gustov Ju.I. Issledovanie konstrukcionno-tehnologicheskikh i jekspluatacionnyh pokazatelej stroitel'noj tehniki [Research of construction-technological and operational indicators of construction equipment]. *Izvestija KGASU*. 2014; (30): 470–475 (in Russian).

3. Muhametshina R.M. Tribologicheskie otkazy dorozhno-stroitel'nyh mashin [Tribological failures of road construction machines]. *Izvestija Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*. 2016; T.18, No 1(2): 252–255 (in Russian).

4. Kotomchin A.N., Kornejchuk N.I. Vlijanie uslovij jekspluatatsii dorozhno-stroitel'nyh mashin i specializirovannogo avtotransporta na resurs ih uzlov i agregatov [Influence of operating conditions of road construction machines and specialized vehicles on the resource of their components and aggregates]. *Tekhnicheskij servis mashin*. 2019; 2 (135): 135–142 (in Russian).

5. Kotomchin A.N., Ljahov E.Ju. Vosstanovlenie detalej uzlov i agregatov tehniki, rabotajushchih pri gidroabrazivnom iznashivanii [Restoration of parts and units of equipment operating under waterjet wear]. *Remont. Vosstanovlenie. Modernizacija*. 2019; 5: 8–12 (in Russian).

6. Kornejchuk N.I., Ljaljakina V.P. Perspektivy ispol'zovanija industrial'nyh metodov vosstanovlenija iznoshennyh detalej mashin gal'vanicheskimi i polimernymi pokrytijami v sovremennyh uslovijah razvitiya agropromyshlennogo tehnicheskogo servisa [Prospects for using industrial methods for restoring worn machine parts with galvanic and polymer coatings in modern conditions of the agricultural technical service]. *Trudy GOSNITI*. 2018; 130: 254–265 (in Russian).

7. Elinek T.V. Uspеhi gal'vanotekhniki. Obzor mirovoj special'noj literatury za 2017–2018 gody [Advances in electroplating. Review of world special literature for 2017–2018]. *Gal'vanotekhnika i obrabotka poverhnosti*. 2019; T. 27, No. 3: 4–14 (in Russian).

8. Elinek T.V. Uspеhi gal'vanotekhniki. Obzor mirovoj special'noj literatury za 2016–2017 gody [Advances in electroplating. Review of world special literature for 2016–2017]. *Gal'vanotekhnika i obrabotka poverhnosti*. 2018; 26. No. 1: 4–10 (in Russian).

9. Bolch T., Linde R., Metzner M., Müll K. Innovative surface structures through electrochemical coating processes. *Galvanotechnik* 103 (2005): 2095–2100.

10. Distelrath, A.; Jakob, C. *Investigation of structured electrodeposition of hard chromium coatings. In: Information technology and electrical engineering - devices and systems, materials and technologies for the future.* Ilmenau: 2009: 379.

11. Distelrath-Lübeck, A. Study of the influence of Methanesulfonic acid on Chromium deposition from chromic acid electrolytes. *Electro Technology.* 2011; 102: 2647–2657.

12. Metzner, M., Bolch, T., Linde, R., Müll, K. Wet combinations-functional surfaces by electrochemical in-situ structuring. *Metal Surface.* 2003; 57. No. 9: 18–22.

13. Stratulat M.P. *Vosstanovlenie detalej mashin v jelectrohimicheskim hromirovanii: monografiya.* [Restoration of machine parts by electrochemical chrome plating: monograph]. OrelGTU, Orel, 2009: 246 (in Russian).

14. Grafushin R.V., Vinokurov E.G., Mahina V.S., Buruhina T.F. *Jeлектрооsazhdenie i fiziko-mehanicheskie svoystva kompozicionnyh pokrytij na osnove hroma s razlichnymi modifikacijami ugleroda* [Electrodeposition and physical and mechanical properties of chromium-based composite coatings with various carbon modifications]. *Gal'vanotekhnika i obrabotka poverhnosti.* 2018; 2 (26): 26–32 (in Russian).

15. Smirnov K.N., Arhipov E.A., Kravchenko D.V. *K voprosu o krojushhej sposobnosti jelektrolitov* [On the question of the hiding power of electrolytes]. *Gal'vanotekhnika i obrabotka poverhnosti.* 2015; 3 (23): 30–34 (in Russian).

16. Shishurin S.A., Semochkin V.S., Safonov V.V., Gur'ev A.E. *Struktura i fiziko-mehanicheskie svoystva kompozicionnyh gal'vanohimicheskikh pokrytij* [Structure and physical and mechanical properties of composite electrochemical coatings]. *Vestnik APK Stavropol'ja.* 2014; 3: 77–80 (in Russian).

17. Kruglikova E.S., Kruglikov S.S., Nekrasova N.E. *O mikrorasseivajushhej sposobnosti jelektrolitov hromirovanija* [On the micro-dispersing ability of chrome-plating electrolytes]. *Gal'vanotekhnika i obrabotka poverhnosti.* 2016; 3 (24): 4–9 (in Russian).

18. Petrochenkova I.V., Pomogaev V.M., Volkovich A.V. *Vlijanie uslovij jelektroliza na rasseivajushhuju sposobnost' jelektrolitov hromirovanija* [Effect of electrolysis conditions on the scattering capacity of chrome plating electrolytes]. *Izv. vuzov: Himija i himicheskaja tehnologija.* 2009; 52, No 6: 54–57 (in Russian).

19. Petrochenkova I.V., Pomogaev V.M., Volkovich A.V. *Osobennosti vlijanija temperatury na rasseivajushhuju sposobnost' jelektrolitov* [Features of the temperature influence on the scattering capacity of electrolytes]. *SB. nauchnyh trudov: Uspehi v himii i himicheskoi tehnologii.* Moscow, 2004; 18: 42–44. (in Russian).

20. Petrochenkova I.V., Pomogaev V.M., Volkovich A.V., Shuvakin A.E. *Prognozirovanie ravnomernosti osazhdenija gal'vanicheskikh pokrytij* [Prediction of the uniformity of the galvanic coatings' deposition]. *Izv. vuzov: Himija i himicheskaja tehnologija.* 2007; 3: 103–107 (in Russian).

21. Kornejchuk N.I., Kovbasjuk A.V., Lisnik A.V. *Vlijanie koncentracii trehvalentnyh soedinenij hroma na nekotorye parametry holodnogo hromirovanija* [Influence of the concentration of trivalent chromium compounds on some parameters of the cold chrome plating]. *Trudy Kishinevskogo SHI.* 1975: 144: 17–23 (in Russian).

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Котомчин Алексей Николаевич – Основная работа по исследованию и сбору информации для составления статьи.

Синельников Анатолий Федорович – Общее руководство по подготовке статьи.

Корнейчук Николай Иванович – Методическое и научное сопровождение при подготовке статьи, получение достоверных результатов исследования и их подтверждение.

AUTHORS' CONTRIBUTION

Aleksei N. Kotomchin – main work on research and collection of information.

Anatoly F. Sinelnikov – general guide to the preparation of the paper.

Nikolai I. Korneychuk – methodological and scientific support in the preparation of the paper; finding reliable research results and confirming them.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Котомчин Алексей Николаевич – аспирант кафедры «Производство и ремонт автомобилей и дорожных машин» МАДИ (125329, Россия, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Ленинградский проспект, 64, Москва), старший научный сотрудник лаборатории «Реновация машин и оборудования» Приднестровского государственного университета. Т.Г. Шевченко, ORCID ID 0000-0002-4750-5255 (3300, Молдова, Приднестровье, Тирасполь, ул. 25 Октября, 128), e-mail: aleshka81@list.ru).

Синельников Анатолий Федорович – канд. техн. наук, доц., доц. кафедры «Производство и ремонт автомобилей и дорожных машин» МАДИ, ORCID ID 0000-0003-0398-4749 (125329, Россия, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Ленинградский проспект, 64, Москва), e-mail: sinelnikov46@inbox.ru).

Корнейчук Николай Иванович – канд. техн. наук, проф. кафедры «Инженерные науки, промышленность и транспорт» ПГУ им. Т.Г. Шевченко, ORCID ID 0000-0002-6420-389X (3300, Молдова, Приднестровье, Тирасполь, ул. 25 Октября, 128, e-mail: n.corneiciuc@uasmd.md).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Aleksei N. Kotomchin – Postgraduate student of the Department of the Production and Repair of Cars and Road Vehicles, Moscow State Automobile and Highway Technical University (MADI) (125329, Russia, Moscow, 64, Leningradsky Ave.), Senior Researcher of the Laboratory of the Renovation of Machinery and Equipment, Pridnestrovian State University named after T.G. Shevchenko, ORCID ID 0000-0002-4750-5255 (3300, Moldova, Tiraspol, 128, 25-go Oktyabrya St., e-mail: aleshka81@list.ru).

Anatoly F. Sinelnikov – Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the

Production and Repair of Cars and Road Vehicles Department, Moscow State Automobile and Highway Technical University (MADI), ORCID ID 0000-0003-0398-4749 (125329, Russia, Moscow, 64, Leningradsky Ave., e-mail: sinelnikov46@inbox.ru).

Nikolai I. Korneychuk – Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Professor of the Department of the Operation and Repair of Machinery and Tractor, Pridnestrovian State University named after T.G. Shevchenko, ORCID ID 0000-0002-6420-389X (3300, Moldova, Tiraspol, 128, 25-go Oktyabrya St., e-mail: n.corneiciuc@uasm.md).