

УСТАНОВКА ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ РАБОЧЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ЭЛЕКТРОЛИТОВ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ГАЛЬВАНИЧЕСКИМИ ПОКРЫТИЯМИ

А.Н. Котомчин, А.Ф. Синельников

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),
г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Использование гальванических покрытий при производстве и восстановлении деталей машин имеет важное значение для увеличения надёжности и снижения затрат при эксплуатации автомобилей. При этом упрочнение и восстановление деталей хромированием, железнением и сплавами на их основе приводит к дополнительным затратам ввиду специфики технологий и необходимости поддержания определённых рабочих температур электролитов для получения качественных и высокопроизводительных осадков. Так как существующие устройства по поддержанию температуры электролита имеют сложную конструкцию и требуют дополнительных энергетических затрат, постоянно ведётся поиск способов и конструкций, которые упростят конструкцию, увеличат её надёжность и сократят затраты электроэнергии.

Материалы и методы. В качестве прототипа для исследований взят существующий способ по поддержанию температуры электролитов ванн, работающих под током. Была сконструирована усовершенствованная установка и апробирована в реальных условиях при получении хромовых, железных осадков и сплавов на их основе.

Результаты. Разработанная установка даёт возможность сократить энергозатраты и улучшить качество электролитических покрытий. Данная установка позволила поддерживать температуру в необходимом диапазоне как при низких температурах 20–35°C, так и при высоких 40–60°C.

Обсуждение и заключение. В результате анализа существующих способов поддержания температуры электролита выявлены их недостатки и предложен новый способ, позволяющий контролировать и поддерживать необходимую рабочую температуру электролита в нужном рабочем диапазоне без значительных колебаний. Разработанную установку возможно будет внедрить в производство, что позволит промышленно использовать сложные по температурному режиму технологии хромирования, при этом получать качественные гальванические покрытия.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: гальванические покрытия, хромирование, железнение, температура, ванна, холодильник, нагреватель, датчики.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ. Работа выполнялась в рамках программы исследований НИЛ «Реновация машин и оборудования» Приднестровского государственного университета им. Т.Г. Шевченко.

БЛАГОДАРНОСТИ. БЛАГОДАРНОСТЬ техническому директору НП ЗАО «Электромаш» г. Тирасполя Ясинскому И.Ф. за предоставленную базу и материалы для проведения исследований. Благодарность рецензентам статьи.

Поступила 18.06.2020, принята к публикации 23.08.2020.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

Для цитирования: Котомчин А.Н., Синельников А.Ф. Установка для поддержания рабочей температуры электролитов при восстановлении деталей машин гальваническими покрытиями. *Вестник СибАДИ*. 2020; 17 (4): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-4-500-511>

© Котомчин А.Н., Синельников А.Ф.



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-4-500-511>

INSTALLATION FOR MAINTAINING THE OPERATING TEMPERATURE OF ELECTROLYTES WHEN RESTORING MACHINE PARTS WITH ELECTROPLATED COATINGS

Aleksei N. Kotomchin, Anatoly F. Sinelnikov

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

ABSTRACT

Introduction. The use of electroplating in the production and restoration of machine parts is important for increasing reliability and reducing costs in the operation of cars. At the same time, strengthening and restoring parts with chrome, iron and alloys based on them leads to additional costs, due to the specifics of technologies and the need to maintain certain operating temperatures of electrolytes to obtain high-quality and high-performance precipitation. Since existing devices for maintaining the temperature of the electrolyte have a complex design and require additional energy costs, we are constantly searching for ways and designs that will simplify the design, increase its reliability and reduce energy costs.

Materials and methods. The current method for maintaining the temperature of electrolytes of current bath is taken as a prototype for the research. An improved plant was designed and tested in real conditions for the production of chrome, iron precipitation and alloys based on them.

Results. The developed installation makes it possible to reduce energy consumption and improve the quality of electrolytic coatings. The developed installation allowed maintaining the temperature in the required range, both at low temperatures of 20÷35°C and at high temperatures of 40÷60°C.

Discussion and conclusion. As a result of the analysis of the existing methods for maintaining the temperature of the electrolyte, their shortcomings are identified and a new method is proposed that will allow controlling and maintaining the necessary operating temperature of the electrolyte in the required operating range without significant fluctuations. The developed installation can be put into production, which will allow industrial use of complex temperature-sensitive chrome plating technologies, while obtaining high-quality electroplating coatings.

KEYWORDS: electroplating, chrome plating, iron plating, temperature, bath, refrigerator, heater, sensors.

FINANCING OF OPERATIONS. The work was carried out within the framework of the research program of the Renewal of machines and equipment scientific laboratory of T.G. Shevchenko Prednistrovian State University.

AKNOLEDGEMENTS. We express our gratitude to the technical Director of Elektromash Joint Stock Company, Tiraspol, I. F. Yasinsky for providing the base and materials for conducting the research and the gratitude to the reviewers of the article.

Submitted 18.06.2020, revised 23.08.2020.

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.

For citation: Kotomchin A.N., Sinelnikov A. F. Installation for maintaining the operating temperature of electrolytes when restoring machine parts with electroplated coatings. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020; 17 (4): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-4-500-511>

© Kotomchin A.N., Sinelnikov A.F.



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

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что для восстановления и упрочнения деталей автомобилей в автомобилестроении наиболее распространены следующие электролитические покрытия: хромовые, железные и сплавы на их основе. Из технологии осаждения данных металлов одним из условий является наименьшее колебание рабочей температуры электролита, которая влияет на качество осажённых покрытий.

В хромировании в основном используют два вида электролитов – горячие и холодные, которые имеют свои особенности по температурному режиму электролиза. Так, при использовании холодных электролитов – улучшаются условия труда, уменьшается расход и выброс в окружающую среду хромового ангидрида, упрощается конструкция ванн, повышается производительность процесса, также возможно осаждение качественных хромовых покрытий с меньшей пористостью и низкими внутренними напряжениями. При этом рассеивающая способность у холодных электролитов хромирования выше, чем у горячих [1, 2, 3].

Однако для хромирования в целом, в частности при использовании холодных электролитов хромирования, есть один существенный недостаток – необходимость поддержания рабочей температуры электролита в заданном технологически необходимом диапазоне, который может достигать не более 5°C. Известно, что в процессе хромирования происходит выделение большого количества теплоты, поэтому для поддержания рабочей температуры электролитов, например в диапазоне $t_{\text{эл.}} = 18...23^\circ\text{C}$, необходимо постоянно его охлаждать¹ [4, 5].

В результате чего возникает необходимость в поддержании рабочей температуры электролита во время работы с минимальными колебаниями, с целью соблюдения технологии и получения необходимого качества покрытий². Поэтому необходимо использовать сложное оборудование и мощные холодильные установки, которые обычно охлаждают электролит с циркуляцией его через холодильный агрегат. Однако данный способ практически невоз-

можно использовать для стационарных электролитов (например для саморегулирующегося холодного электролита хромирования), в которых циркуляция слоёв противопоказана ввиду исключения перемешивания с донной фазой, служащей источником саморегуляции, и при попадании в основные слои электролита может приводить к ухудшению качества покрытий, попадая в соединение с основным металлом (растрескивание и отшелушивание) [5, 6, 7].

В свою очередь для горячих электролитов хромирования возникают свои проблемы – требуется нагрев электролита до рабочей температуры (до 40–70°C) без повреждений и «шока» для оборудования (ванны), с наименьшим колебанием рабочих температур электролитов. На практике часто используют теплообменники, которые нагревают электролит за счёт теплоносителя, при этом затрачивается много электроэнергии из-за низкого КПД. При одновременном хромировании большого количества деталей или крупногабаритной одной детали, имеющих большую площадь теплоотдачи, сложно сглаживать колебания температур, из-за чего может ухудшаться качество самого покрытия. Также для снижения колебаний используют многопозиционную систему поддержания температуры электролита, которая имеет сложное устройство, поэтому в восстановлении и упрочнении деталей автомобилей распространение не нашло [8, 9, 10].

При проведении осаждения железа и сплавов железа с хромом в зависимости от технологического процесса требуется также поддерживать рабочую температуру электролита в зависимости от технологии в диапазоне $t_{\text{эл.}} = 30\text{--}70^\circ\text{C}$, при этом допустимое колебание рабочей температуры не превышает $t_{\text{эл.}} = 5\text{--}10^\circ\text{C}$. Для нагрева и поддержания заданной температуры дополнительно к теплообменникам в процессных ваннах необходимо проводить постоянное перемешивание слоёв для снижения влияния перепада рабочих температур по слоям с сохранением качества осадков³.

¹ Батищев Д.П., Корнейчук И.Н. Интенсификация электроосаждения хромовых покрытий при использовании органических добавок // Применение прогрессивных технологий, композиционных материалов и покрытий с целью повышения долговечности сборочных единиц при изготовлении и ремонте машин // Тез. докл. Республиканской научно-технической конф. Саранск: 1994. С. 8.

² Виноградов С.С. Экологически безопасное гальваническое производство. 3 изд. М.: Глобус, 1998. 298 с.

³ Котомчин А.Н., Ткаченко А.П. Анализ использования гальванических покрытий в автомобилестроении Германии // материалы Международной научной конференции «Высокие технологии и инновации в науке». СПб.: ГНИИ «Нацразвитие», 2020. С. 159-165.

Таким образом процесс получения гальванических покрытий для упрочнения и восстановления деталей машин усложняется. При этом использование существующих способов поддержания рабочей температуры электролита при электролизе увеличивает себестоимость и снижает целесообразность использования хромовых, железных и других гальванических покрытий. Проводимые исследования на данный момент выявляют новые составы электролитов, одни из перспективных способов восстановления и упрочнения деталей машин, при которых возможно получать качественные хромовые и железо-хромовые покрытия с высокой производительностью и качеством покрытий, однако они требовательны к температурному режиму электролиза [11, 12].

ТЕОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

При проведении патентного анализа, литературного обзора и изучения работ учёных за последнее время были исследованы различные способы поддержания рабочей температуры электролитов, в частности ванн с нагревом их рабочих растворов электролитов, в состав которых включались следующие составляющие: датчики температур, контрольные приборы и исполнительное оборудование для двухпозиционного регулирования рабочей температуры электролита (рисунок 1). Данный способ осуществляется путем включения электронагревательных элементов (ТЭН) непосредственно в ванне с электролитом или подачи от источника тепла (холода) соответствующего вида теплоносителя (вода, пар), соответственно, в расположенные в процессной ванне гальванических покрытий нагревательные элементы, которые выполнены в виде змеевиков-теплообменников. При этом восполнение потерь электролита в процессной ванне осуществляется из отдельных дополнительных ванн, в которых приготовление электролита происходит с помощью химреактивов и дистиллированной воды из питающей ванны многокаскадной системы промывки деталей, которая выполняется погружным методом в отдельных ваннах по технологии⁴ [13, 14].

При этом главным недостатком данного способа является его сравнительно ограниченные функционально-технологические возможности, которые, например, не позволяют производить поддержание рабочей температуры электролитов в ваннах для нанесения покрытий с нагревом (охлаждением), их рабочих составов электролитов и под воздействием высокой плотности тока, величина которого в зависимости от вида покрытия (хромирования в частности) и площади покрываемой поверхности может достигать сотни ампер, что в свою очередь из-за выделения большого количества теплоты приводит к превышению и большому колебанию технологически заданного температурного диапазона⁵ [15, 16].

В результате использования данного способа верхний предел требуемой по технологии рабочей температуры электролита, например $t_{эл.} = 25^\circ\text{C}$ (процессы холодного хромирования), при использовании данного способа может быть превышен из-за выделения большого количества теплоты при осаждении гальванических покрытий на большие площади деталей, а также в случае летнего повышения окружающей температуры в гальваническом цехе, которое может снижать эффективность теплообмена.

Кроме этого, недостатками данного способа являются: повышенный расход химикатов и/или промывной воды в условиях большой номенклатуры и мелкосерийного и единичного производства, также в условиях, при которых детали различных размеров и габаритов могут поступать на восстановление через различные (в том числе и относительно увеличенные) промежутки времени. При использовании данного способа сравнительно большие потребности в производственных площадях, необходимых для размещения в соответствующих ваннах для охлаждения электролита и многокаскадной промывки. Ещё одним недостатком будет относительно низкая стабильность параметров (в частности, концентрации основных компонентов – неорганических и органических) электролита в процессной ванне⁶ [17].

⁴ Петроченкова И.В., Помогаев В.М. Влияние температуры и плотности тока на РС хромовых элект

⁵ Петроченкова И.В., Помогаев В.М., Волкович А.В. Об особенностях влияния температуры на рассеивающую способность электролитов хромирования // XXVI Науч. конф. профессорско-преподавательского состава и сотрудников НИ РХТУ им. Д.И. Менделеева/ Тез. докл.. Новомосковск: НИ РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2007. С. 38.

⁶ Алексеев А.Н., Наркевич С.О. Способ бессточной гальванохимической обработки и очистки поверхностей деталей, в частности, на подвесках // Патент России №2218455 РФ., М.кл. C25D 21/08, 2002 г.

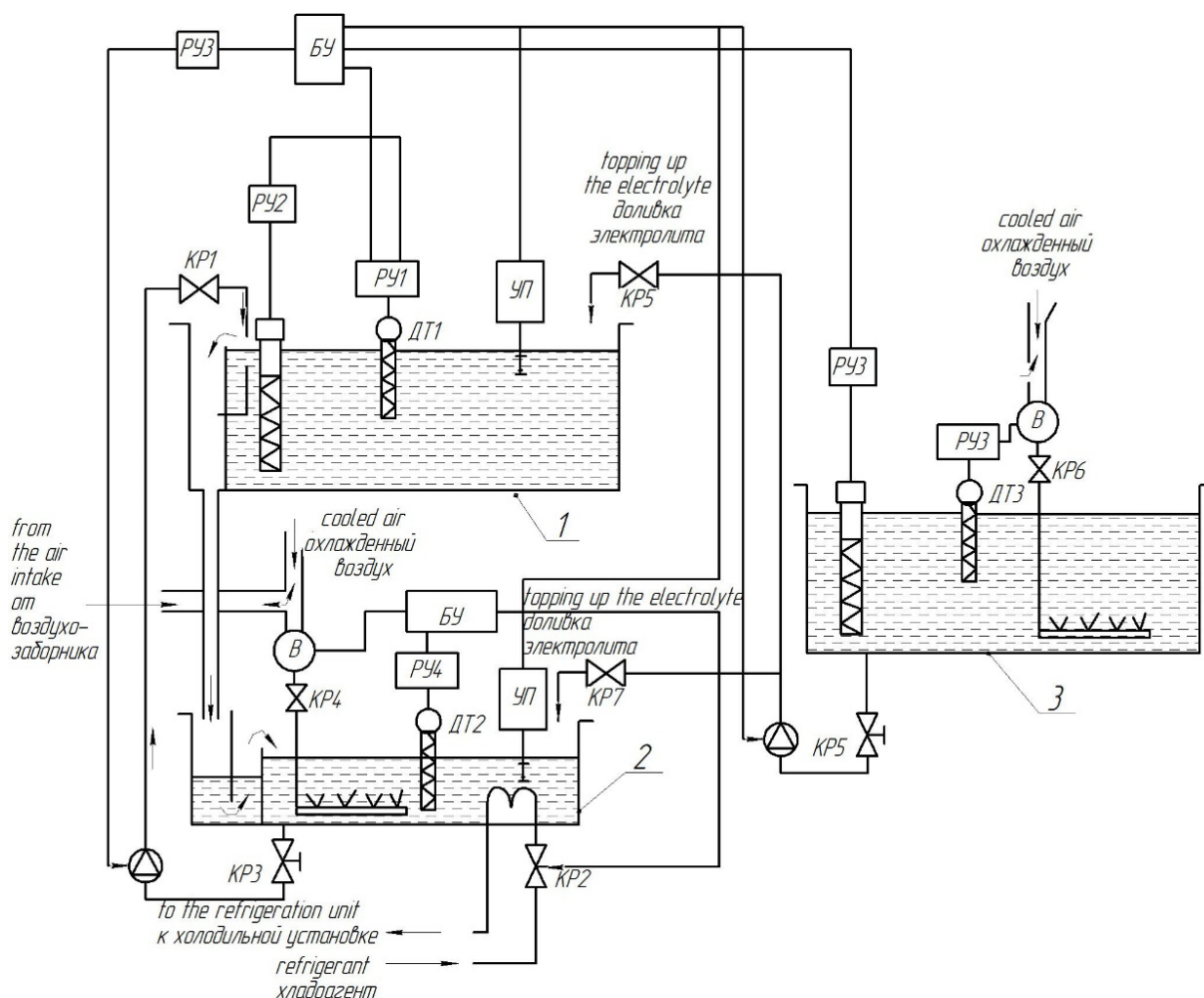


Рисунок 1 – Установка для поддержания температуры нагреваемых электролитов ванн, работающих «под током»: 1 – процессная ванна; 2 – буферный бак охлаждения электролита; 3 – буферный бак приготовления и подпитки процессной ванны и буферного бака охлаждения электролитом

Figure 1 – Installation for maintaining the temperature of heated electrolytes of baths operating "under current": 1 – process bath, 2 – buffer tank for cooling the electrolyte, 3 – buffer tank for preparing and feeding the process bath and buffer tank for cooling the electrolyte

Также известен ещё один способ охлаждения и поддержания рабочей температуры электролитов в процессных ваннах, например хромирования, который включает использование соединенного с ванной хромирования выносного теплообменника, подключённого к

системе контура подачи хладагента (рассол, антифриз). Вся эта система соединена с холодильным агрегатом и оснащена циркуляционным насосом для возврата охлажденного электролита в ванну хромирования (рисунок 2).

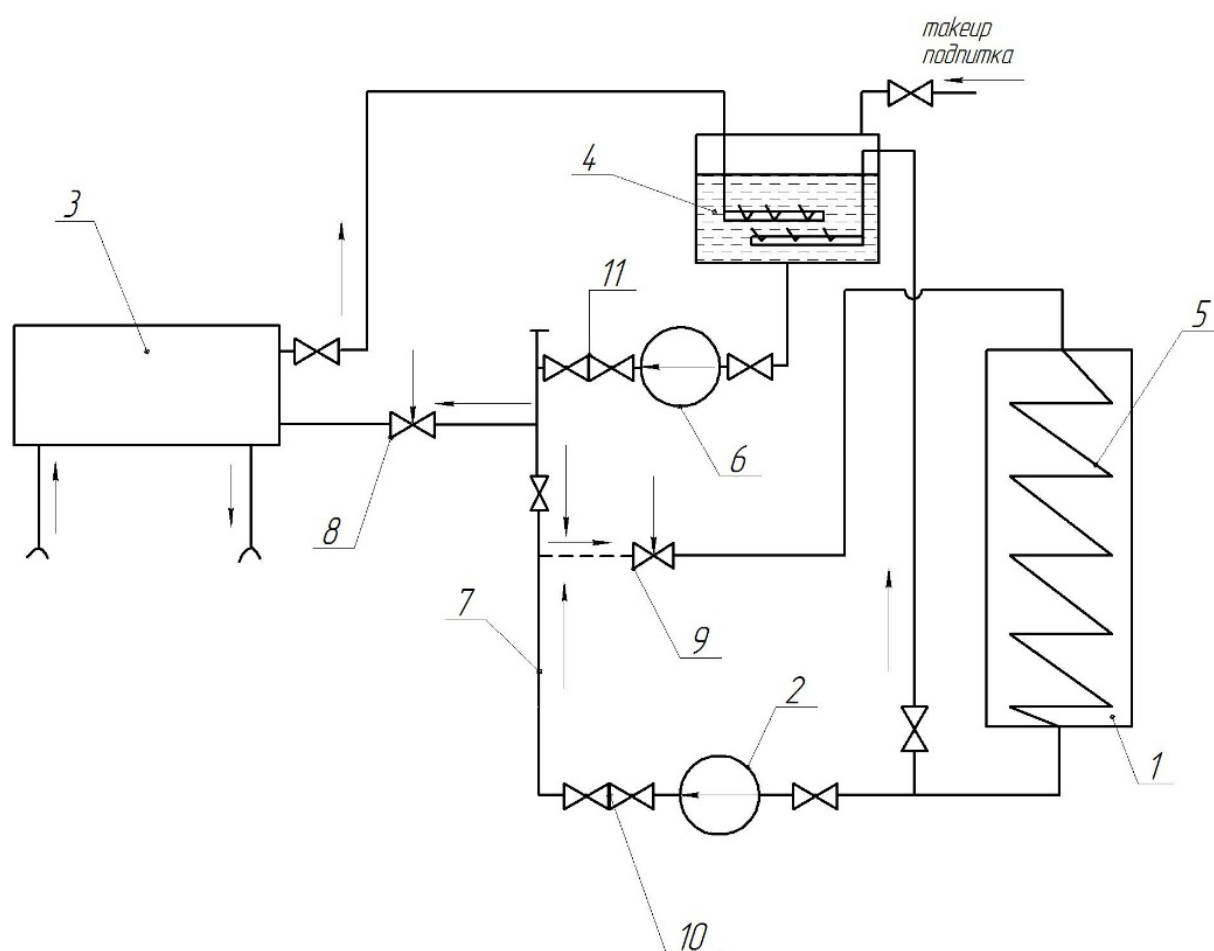


Рисунок 2 – Устройство для охлаждения электролита:
 1 – гальваническая ванна; 2 – нагнетательный насос; 3 – холодильная машин;
 4 – аккумуляторная ёмкость; 5 – теплообменная поверхность;
 6 – второй насос; 7 – коллектор; 8,9 – регулирующие клапаны;
 10,11 – обратные клапаны

Figure 2 – device for cooling the electrolyte:
 1 – galvanic bath; 2 – discharge pump; 3 – refrigerating machine; 4 – storage tank;
 5 – heat exchange surface; 6 – second pump; 7 – collector;
 8,9 – control valves; 10,11 – check valves

Недостатком данного способа является необходимость в дополнительной площади в гальваническом цехе, необходимой для размещения выносного теплообменника с аккумуляторной ёмкостью и холодильного устройства. Значительным недостатком этого способа будет сравнительно низкая эффективность работы теплообменника, обусловленная отсутствием контроля температуры и уровня

электролита, что усложняет поддержание рабочей температуры с наименьшими колебаниями, а также необходимость длительной работы насосного агрегата, обеспечивающего циркуляцию охлаждаемого электролита по контуру: ванна хромирования– выносной теплообменник–насосный агрегат–ванна хромирования.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате анализа существующих способов поддержания необходимой рабочей температуры электролита наиболее близким к предлагаемому по техническому содержанию, который выбран в качестве прототипа, является «Способ поддержания температуры нагреваемых электролитов ванн, работающих «под током»»⁷ [18].

Недостатками данного способа являются: необходимость увеличения габаритов ванны или снижение надежности работы основной гальвано-химической обработки, из-за размещения нагревателя в процессной ванне с электролитом; сравнительно низкая эффективность и стабильность процессов поддержания температуры электролитов процессных ванн, в результате отсутствия обеспечения, взаимосвязи работы подсистем регулирования температуры и уровня; использования дополнительного заливаемого в буферный бак электролита как для охлаждения, так и для регулирования уровня электролита в процессной ванне, что влечёт увеличенный расход химикатов [19, 20].

Для решения данной проблемы предлагается в существующем способе изменить конструкцию процессной ванны, исключив процесс переливания электролита в буферный бак, также убрать теплообменник нагревателя из процессной ванны и установить его в изолированный буферный бак, в котором будет осуществляться поддержание температуры теплоносителя до технологически необходимой. Для отвода тепла или нагрева электролита до рабочей температуры предлагается установить в процессную ванну змеевик-теплообменник, который будет располагаться по внутреннему периметру ванны. Процесс отвода или подвода необходимого тепла будет осуществляться насосом, который берет теплоноситель из буферного бака. В буферном баке поддержание необходимой температуры теплоносителя будет осуществляться с помощью нагревательного элемента – ТЭНа или холодильного устройства, в зависимости от заданной температуры электролита согласно технологическому процессу осаждения хрома, железа или сплавов на их основе (рисунок 3).

Также данный способ возможно исполь-

зовать в осаждении других гальванических покрытий, где необходимо поддерживать температуру в заданных пределах без больших колебаний рабочей температуры электролита.

Технический результат: снижение габаритов буферной ванны и трудозатрат, связанных с заменой и/или ремонтом нагревателей, повышение эффективности, надежности и стабильности поддержания температуры при производственном использовании хромирования, железнения и сплавов на их основе. Также данный способ исключает перемешивание слоёв, что при использовании холодного саморегулирующего электролита хромирования исключит попадание соединений кальция в основной электролит и тем самым улучшит качество хромовых покрытий, получаемых без брака. При осаждении осадков железа и сплавов на его основе необходимо поддерживать высокую температуру для исключения колебаний по слоям электролита. Для этого иногда используют принудительное перемешивание, однако это несёт высокие трудозатраты, увеличение размеров процессной ванны и дополнительные затраты на дополнительное оборудование. Поэтому использование данного способа позволит нагревать и поддерживать необходимую рабочую температуру электролита с заданной точностью без колебаний.

Предлагаемая установка для поддержания рабочей температуры электролита в гальванической ванне, работающей «под током», действует следующим образом: в процессную ванну 1 приготавливается электролит необходимого состава, если нужно, выдерживается предусмотренное технологией время. В буферный бак 2 заливают в зависимости от необходимости поддержания температуры электролита – дистиллированную воду или рассол (антифриз). В буферный бак 3 заливают дополнительный электролит того же состава, что и основной (для доливки по необходимости), в котором будет поддерживаться температура, соответствующая рабочей. Также электролит в буферном баке 3 будет получать для приготовления электролита необходимую дистиллированную воду, поступающую из бака 4. Перед запуском осаждения покрытия в гальванической процессной ванне электролит доводят до рабочей температуры с помощью буферного бака 2 и систем подогрева или охлаждения (по технологической необходимости).

⁷ Алексеев А.Н. Способ поддержания температуры нагреваемых электролитов ванн, работающих «под током»// Патент России №25993141 2015. Бюл. №28.

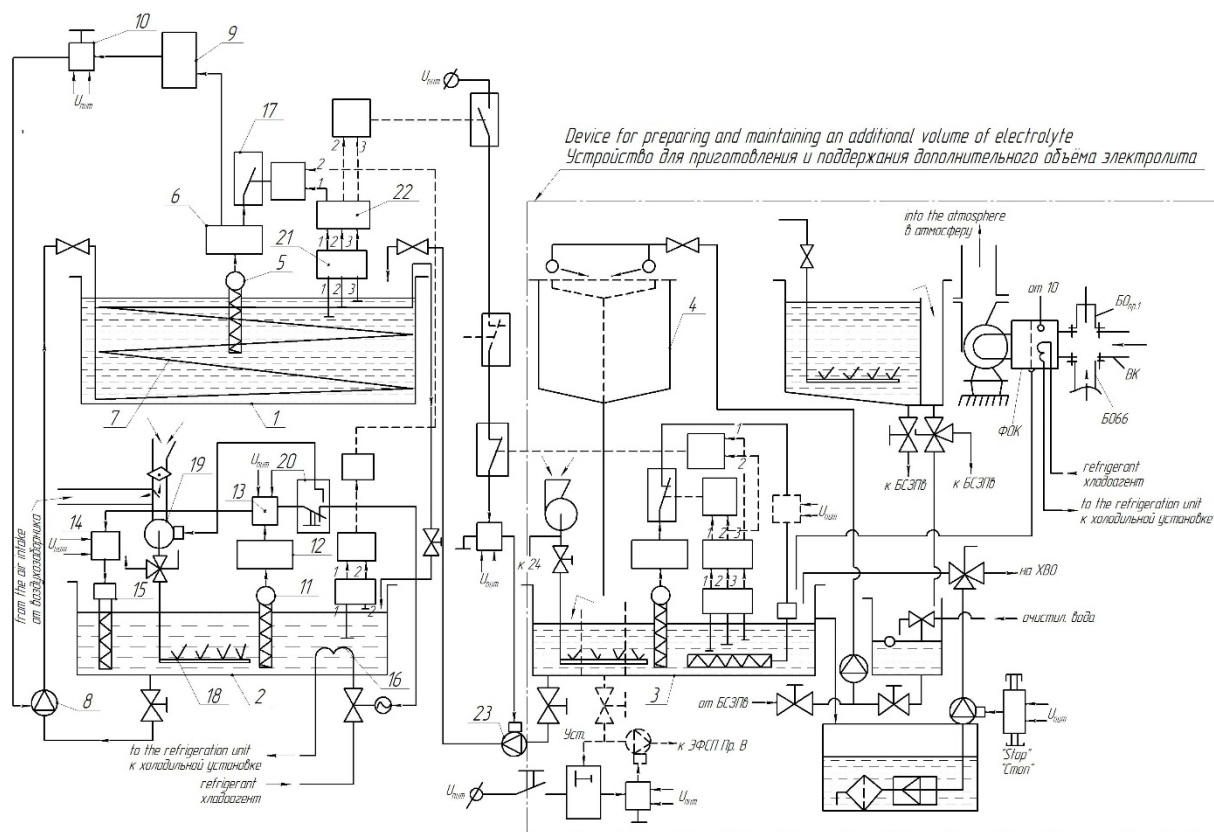


Рисунок 3 – Установка для поддержания рабочей температуры электролита ванн:
 1 – процессная ванна; 2 – буферный бак охлаждения электролита; 3 – буферный бак приготовления и пополнения уровня электролита; 4 – бак с дистиллированной водой;
 5, 11, 21 – датчики температуры, 6, 10 – реле включения насоса; 7 – змеевик-теплообменник;
 8, 23 – насос; 9 – блок управления; 12, 22 – преобразователь; 13, 14, 17, 20 – реле включения;
 15 – нагреватель; 16 – испаритель; 18 – барботёр; 19 – нагнетательный вентилятор

Figure 3 – Installation for maintaining the operating temperature of the bath electrolyte:
 1 – process bath, 2 – buffer tank for cooling the electrolyte, 3 – buffer tank for preparing and replenishing the electrolyte level,
 4 – tank with distilled water, 5, 11, 21 – temperature sensors, 6, 10 – pump switching relay,
 7 – coil-heat exchanger, 8, 23 – pump, 9 – control unit, 12, 22 – Converter, 13, 14, 17, 20 – switching relay,
 15 – heater, 16 – evaporator, 18 – bubbler, 19 – discharge fan

Доведя до нужной температуры электролит, включают процесс осаждения. По закону Фарадея чем больше площадь осаждения и плотность тока, тем интенсивнее происходит выделение тепла. При осаждении начнётся увеличиваться температура, поэтому выставляют датчик 5 и реле включения насоса 6 на необходимый предел температуры, при котором необходимо включать охлаждение, т.е. охлаждение происходит через змеевик-теплообменник 7 посредством движения в нём охлаждённой воды или рассола, осуществляемое насосом 8, управление которого будет осуществляться через блок управления 9 и

включения насоса 10. Температура в буферном баке 2 будет регулироваться в зависимости от необходимости с помощью датчика температуры 11, преобразователя 12 и реле включения 13.

При необходимости нагрева через реле 14 включается нагреватель 15 до температуры выше необходимой для электролита на 10–20°C, для ускорения процесса нагрева электролита в основной процессной ванне 1. Нагретый носитель через змеевик-теплообменник 7 и посредством создания движения теплоносителя, с помощью насоса 8 нагревает электролит в процессной ванне до нижнего

уровня, необходимого по технологии. Например, если по технологии температурный рабочий диапазон хромирования $t_{\text{эл.}}=28\text{--}35^\circ\text{C}$, то нагрев электролита будет производиться до $t_{\text{эл.}}=28^\circ\text{C}$, в дальнейшей работе электролита необходимо будет производить постоянное охлаждение. После этого нужно включить охлаждение носителя в буферном баке 2 посредством выключения нагревателя 2 и включения холодильника и через испарители 16 включить подачу холода для охлаждения теплоносителя. Для предотвращения колебания температуры выше технологического необходимо, чтобы насос 8 включался при температуре $t_{\text{эл.}}=32\text{--}33^\circ\text{C}$, управление которого осуществляется посредством датчика температуры 5, реле включения 17 и блока управления 9. Также предусмотрен вариант принудительного включения насоса 8 посредством реле 10. Для ускорения процесса теплообмена и охлаждения теплоносителя предусмотрен барботёр 18, который с помощью нагнетательного вентилятора 19 и блока-реле 20 нагнетает холодный воздух (в осенне-весенний и зимний период) или принудительно охлаждённый в летний период. Уровень электролита в процессной ванне контролируется при помощи датчика 21 и блока-преобразователя 22. При уменьшении уровня (объёма) электролит, уже охлаждённый до рабочей температуры из буферного бака 3, будет при помощи насоса 23 поступать в процессную ванну до выставленного уровня, при достижении которого будет отключаться насос 23. В буферном баке 3 после отсоса определённого количества электролита будет добавляться новый путём приготовления его. Обычно в буферном баке 3 приготавливается достаточное количество электролита и в процессе осаждения не происходит его приготовления, для сохранения целостности и исключения перемешивания фаз различных слоёв, которые могут повлиять на качество осаждения в целом. Остальные приборы и узлы участвуют в поддержании температуры электролита в буферном баке 3, в котором так же, как и в баке 2 используется барботёр для охлаждения электролита и нагреватель для нагрева электролита.

В результате проведённых расчётов необходимой длины змеевика-теплообменника и необходимой мощности циркуляционного насоса производится подбор для соответствующей гальванической ванны, в зависимости от вида покрытия и технологии нанесения покрытия. Для ускорения процесса нагрева электролита нужно, чтобы соблюдалось ус-

ловие: $T_{\text{нагр.}} > T_{\text{электр.}}$, при этом для ускоренного процесса нагрева разность должна быть минимум $10\text{--}20^\circ\text{C}$. Для поддержания устойчивой рабочей температуры как низкой, так и высокой, необходимо, чтобы соблюдалось соответствующие условие – скорость охлаждения и теплообмена больше скорости выделения тепла: $V_{\text{охл.}} > V_{\text{тепл.}}$.

Данное устройство позволит обеспечить более точную рабочую температуру электролита при проведении осаждения гальванических покрытий на изделиях большой площади или большого количества одновременно покрываемых изделий, снизить затраты на поддержание необходимой рабочей температуры, так как отпадает необходимость в сложной одновременной работе устройства по поддержанию температуры, уровня электролита в процессной ванне и буферном баке. Также перенос нагревателя из процессной ванны в буферный бак позволит увеличить срок службы его и тем самым снизит затраты на электроэнергию и повысит надёжность установки в целом.

Таким образом, данный способ дает возможность сэкономить потребности в химикатах, энергоресурсах и снизит инертность гальванической установки в целом, что положительно отразится на качестве осаждаемых покрытий. Так при проведении исследований осаждения гальванических покрытий использование предлагаемой установки позволит обеспечить поддержание рабочей температуры электролита ванны до технологически заданного значения, например $20 \pm 2^\circ\text{C}$, и поддерживать этот режим без больших колебаний, сохраняя заданное качество покрытия. Также данный способ позволит нагревать и поддерживать рабочую температуру электролита в заданном диапазоне в пределах $t_{\text{эл.}}=60 \pm 5^\circ\text{C}$ с заданной точностью. [21, 22]

Пример использования данного способа с оборудованием при проведении исследований хромовых осадков и сплавов железа с хромом в условиях НИЛ «Реновация машин и оборудования» ПГУ им. Т.Г. Шевченко показан на рисунке 4.

ВЫВОДЫ

Проведя анализ существующих установок и способов по поддержанию рабочей температуры электролитов, можно сделать выводы, что ни одна из них не удовлетворяет необходимые условия электролиза при восстановлении и упрочнении деталей автомобилей, а также при проведении исследований в научно-исследовательских лабораториях.



Рисунок 4 – Установка по поддержанию температуры электролита хромирования (справа внизу) с панелью управления (справа сверху)

Figure 4 – Installation for maintaining the temperature of the chrome plating electrolyte (bottom right) with the control panel (top right)

Так как обладают множеством недостатков, в том числе потребностью в дополнительных площадях гальванических цехов, сложности оборудования, а также недостаточной точностью и высокими колебаниями рабочих температур электролитов, что приводит к ухудшению качества гальванических покрытий вплоть до образования брака. Поэтому получение гальванических покрытий является одним из энергозатратных способов при восстановлении и упрочнении деталей машин⁸ [23, 24, 25].

В результате исследований разработана новая установка по поддержанию рабочей температуры электролита ванн, работающих «под током», которая апробирована в качестве проведения исследований при осаждении хрома, железных и железохромовых сплавов. Использование данной установки позволило исключить существующие недостатки устройств по поддержанию рабочей температуры электролитов. Благодаря использованию нового способа охлаждения электролитов уменьшится себестоимость получения гальва-

нических покрытий. Сделает возможным более широко использовать их для восстановления и упрочнения деталей автомобилей, а также расширит возможность использования его в производстве автомобилей, увеличивая ресурс деталей и узлов [26].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Елинек Т.В. Успехи гальванотехники. Обзор мировой специальной литературы за 2017–2018 годы // Гальванотехника и обработка поверхности. 2019. №Т. 27, №3. С. 4-14.
2. 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. 379 p.
3. Repenning D. Pulse Chromium Plating // Galvanotechnik. 2000. Vol. 91, № 10. Pp. 2878-2883.
4. Аджиев, Б.У., Ващенко С.В., Соловьева З.А. Влияние структуры и физико-механических свойств хрома на износостойкость хромовых покрытий // Гальванотехника и обработка поверхности. 1992. Т.1, №1. С. 28-31.
5. Звягинцева А.В., Бурдыкина Р.И. Проблемы хромирования и альтернативные покрытия никель-бор // Гальванотехника и обработка поверхности. 2003. №Т. 11, №2. С. 24-29.
6. Dubpernell G, Kenney D. Eigenschaften von Chromueberzuegen aus Chromis-pel-l-Electrolyten // Galvanotechnik. 2002. Bd. 93. № 6. Pp. 1466-1469.
7. 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.
8. Ващенко С.В., Солодкова И.Н., Кудрявцев В.Н. О некоторых физико-механических свойствах хромовых покрытий, полученных из хромовокислых электролитов с органическими добавками // Гальванотехника и обработка поверхности. 2000. Т. 8, №3. С. 25-28.
9. Котомчин А.Н., Ляхов Ю.Г. Анализ электролитов хромирования для восстановления и упрочнения деталей машин // Вестник приднестровского университета. 2017. С. 113-119.
10. Солодкова Л.Н., Ващенко С.В., Кудрявцев В.Н. Высокопроизводительный электролит износостойкого хромирования // Гальванотехника и обработка поверхности. 2003. Т. 11, № 3. С. 31-33.
11. Котомчин А.Н., Синельников А.Ф. Усовершенствование холодного саморегулирующегося электролита хромирования при упрочнении и восстановлении деталей машин // Мир транспорта и технологических машин. 2019. №4 (67). С. 17-24.

⁸ Котомчин А.Н. Устройство для поддержания температуры электролита // Патент ПМР №517F1 2020. Заявка № 20100572 от 12.05.2020.

12. Стратулат, М.П. Восстановление деталей машин электрохимическим хромированием. Орел, ОрелГТУ, 2009. 246 с.

13. Губаревич Г.П., Москвичева Г.П., Савченко А.В. Экологические показатели производства электроосаждения хрома и его сплавов на основе хромовой кислоты // ВолгГАСА. 2003. С. 31-36.

14. Котомчин А.Н., Синельников А.Ф., Корнейчук Н.И. К вопросу выбора способа восстановления деталей машин // Вестник СибАДИ. 2020. 17(1). С. 84-97.

15. Максименко С.А., Балакина О.А. Электроосаждение хромовых покрытий из электролитов на основе хрома (3) и муравьиной кислоты // Гальванотехника и обработка поверхности. 1992. Т. 1, №3-4. С. 47-50.

16. Петроченкова И.В., Помогаев В.М., Волкович А.В. Влияние условий электролиза на рассеивающую способность электролитов хромирования // Химия и химическая технология. 2009. Т. 52, № 6. С. 54-57.

17. Попов Е.Р., Бурыкина В.С., Исаенков Е.В. Унос хромового ангидрида в процессе хромирования // Гальванотехника и обработка поверхности. 1994. Т. 3, №5-6. С. 74-76.

18. Петроченкова И.В., Помогаев В.М., Волкович А.В. Особенности влияния температуры на рассеивающую способность электролитов // Успехи в химии и химической технологии. М. 2004. Т18. С. 42-44.

19. Попов Е.Р., Бурыкина В.С., Исаенков Е.В. Унос хромового ангидрида в процессе хромирования // Гальванотехника и обработка поверхности. 1994. Т. 3, №5-6. С. 74-76.

20. Зубченко В.Л. Гибкие автоматизированные гальванические линии. Москва, Машиностроение, 1989. С. 148-156.

21. Chromabscheidung aus wässrigen Lösungen. Chromsaure Lösungen Galvanotechnik. 2005. Т. 1, №9. Рр. 2063-2071.

22. 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.

23. Chromabscheidung aus wässrigen Lösungen Katalysatorhaltige Elektrolyte Galvanotechnik. 2005. Т. 11, №11. Рр. 2619-2628.

24. Baraldi P., Soragni E. On the kinetics of chromium electrodeposition on copper electrodes // J. Alloys and Compounds. 2001. № 317-318. Рр. 612-618.

25. Демин А.А., Попов Е.Р. и др. Малотоксичный электролит хромирования «ДТХИ-трихром» // Технологический прогресс и вопросы экологии в гальванотехнике. 1990. С. 11-12.

26. 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.

REFERENCES

1. Elinek T.V. Uspehi gal'vanotekhniki. Obzor mirovoj special'noj literatury za 2017-2018 gody [World litera-

ture review for 2017-2018]. *Gal'vanotekhnika i obrabotka poverhnosti*. 2019; 27 (3): 4-14. (in Russian)

2. 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*. 2009. 379 p.

3. Repenning D. Pulse Chromium Plating. *Galvanotechnik*. 2000; 91 (10): 2878-2883.

4. Adzhiev, B.U., Vashhenko S.V., Solov'eva Z.A. Vliyanie struktury i fiziko-mekhanicheskikh svoystv hroma na iznosostojkost' hromovykh pokrytij [Influence of the structure and physical and mechanical properties of chromium on the wear resistance of chrome coatings]. *Gal'vanotekhnika i obrabotka poverhnosti*. 1992; 1(1): 28-31. (in Russian)

5. Zvjaginceva A.V., Burdykina R.I. Problemy hromirovaniya i al'ternativnye pokrytija nikel' – bor [Problems of chrome plating and alternative Nickel – boron coatings]. *Gal'vanotekhnika i obrabotka poverhnosti*. 2003; 11 (2): 24-29. (in Russian)

6. Dubpernell G, Kenney D. Eigenschaften von Chromeüberzügen aus Chromis-pel-l-Elektrolyten. *Galvanotechnik*. 2002; 93 (6): 1466-1469.

7. Kornejchuk N.I., Ljaljakin V.P. Perspektivy ispol'zovaniya industrial'nykh metodov vosstanovleniya iznoshennykh detalej mashin gal'vanicheskimi i polimernymi pokrytijami v sovremennykh usloviyakh razvitiya agropromyshlennogo tehnikeskogo servisa [Prospects for the use of industrial methods for restoring worn machine parts with electroplating and polymer coatings in modern conditions of development of agro industrial technical service]. *Trudy GOSNITI*. 2018; 130: 254-265. (in Russian)

8. Vashhenko S.V., Solodkova I.N., Kudrjavcev V.N. O nekotorykh fiziko-mekhanicheskikh svoystvakh hromovykh pokrytij, poluchennykh iz hromovokislykh jelektrolitov s organicheskimi dobavkami [About some physical and mechanical properties of chrome coatings obtained from chromic acid electrolytes with organic additives]. *Gal'vanotekhnika i obrabotka poverhnosti*. 2000; 8 (3): 25-28. (in Russian)

9. Kotomchin A.N., Ljahov Ju.G. Analiz jelektrolitov hromirovaniya dlja vosstanovleniya i uprochneniya detalej mashin [Analysis of chrome plating electrolytes for restoring and strengthening machine parts]. *Vestnik pridnestrovskogo universiteta. serija*. 2017. 113-119. (in Russian)

10. Solodkova L.N., Vashhenko S.V., Kudrjavcev V.N. Vysokoproizvoditel'nyj jelektrolit iznosostojkogo hromirovaniya [High-performance wear-resistant chrome-plated electrolyte]. *Gal'vanotekhnika i obrabotka poverhnosti*. 2003; 11(3): 31-33. (in Russian)

11. Kotomchin A.N., Sinelnikov A.F. Uovershenstvovanie holodnogo samoregulirujushhegosja jelektrolita hromirovaniya pri uprochnenii i vosstanovlenii detalej mashin [Improvement of cold self-regulating electrolyte of chromium plating for hardening and restoration of machine parts]. *Mir transporta i tehnologicheskikh mashin*. 2019; 4 (67): 17-24. (in Russian)

12. Stratulat, M.P. Vosstanovlenie detalej mashin jelektrohimičeskim hromirovanijem [The restoration of

details of machines by electrochemical plating]. Orel, OrelGTU, 2009. 246 p. (in Russian)

13. Gubarevich G.P., Moskvicheva G.P., Savchenko A.V. Jekologicheskie pokazateli proizvodstva jelektroosazhdenija hroma i ego splavov na osnove hromovoj kisloty [Environmental indicators of production of electrodeposition of chromium and its alloys based on chromic acid]. *VolgGASA*. 2003. 31-36. (in Russian)

14. Kotomchin A.N., Sinel'nikov A.F., Kornejchuk N.I. K voprosu vybora sposoba vosstanovlenija detalej mashin [The issue of choosing a method for restoring machine parts]. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020; 17(1): 84-97. (in Russian)

15. Maksimenko S.A., Balakina O.A. Jelektroosazhdenie hromovykh pokrytij iz jelektrolitov na osnove hroma (3) i murav'inoj kisloty [Electrodeposition of chromium coatings from electrolytes based on chromium (3) and formic acid]. *Gal'vanotekhnika i obrabotka poverhnosti*. 1992; 1 (3-4): 47-50. (in Russian)

16. Petrochenkova I.V., Pomogaev V.M., Volkovich A.V. Vlijanie uslovij jelektroliza na rasseivajushhuju sposobnost' jelektrolitov hromirovanija [The influence of electrolysis conditions on the scattering power of chromium plating electrolytes]. *Himija i himicheskaja tehnologija*. 2009; 52(6): 54-57. (in Russian)

17. Popov E.R., Burykina V.S., Isaenkov E.V. Unos hromovogo ангидрида в процессе хромирования [Entrainment of chromic anhydride in the chrome plating process]. *Gal'vanotekhnika i obrabotka poverhnosti*. 1994. 3 (5-6): 74-76. (in Russian)

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

19. Popov E.R., Burykina V.S., Isaenkov E.V. Unos hromovogo ангидрида в процессе хромирования [Entrainment of chromic anhydride in the chrome plating process]. *Gal'vanotekhnika i obrabotka poverhnosti*. 1994; 3 (5-6): 74-76. (in Russian)

20. Zubchenko V.L. Gibkie avtomatizirovannye gal'vanicheskie linii [Flexible automated galvanic lines]. Moscow, Mashinostroenie, 1989. Pp. 148-156. (in Russian)

21. Chromabscheidung aus wässrigen Lösungen. Chromsaure Lösungen Galvanotechnik. 2005; 1 (9): 2063-2071.

22. Petrochenkova I.V., Pomogaev V.M., Volkovich A.V. Vlijanie uslovij jelektroliza na rasseivajushhuju sposobnost' jelektrolitov hromirovanija [The influence of electrolysis conditions on the scattering power of chromium plating electrolytes]. *Himija i himicheskaja tehnologija*. 2009; 52 (6): 54-57. (in Russian)

23. Chromabscheidung aus wässrigen Lösungen Katalysatorhaltige Elektrolyte Galvanotechnik. 2005; 11 (11): 2619-2628.

24. Baraldi P., Soragni E. On the kinetics of chromium electrodeposition on copper electrodes. *J. Alloys and Compounds*. 2001; 317-318: 612-618.

25. Demin A.A., Popov E.R. i dr. Malotoksichnyj jelektrolit hromirovanija «DTHI-trihrom» [Low-toxic electrolyte of chromium plating «DTHI-trihrom»]. *Tekhnologicheskij progress i voprosy jekologii v gal'vanotekhnike*. 1990. 11-12. (in Russian)

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

AUTHORS' CONTRIBUTION

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

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

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 им. Т.Г. Шевченко (3300, Молдова, Приднестровье, Тирасполь, ул. 25 Октября, 128), e-mail: aleshka81@list.ru, ORCID 0000-0002-4750-5255.

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

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Aleksei N. Kotomchin – Postgraduate student of the Production and Repair of Cars and Road Vehicles Department, 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, T.G. Shevchenko Pridnestrovian State University (3300, Moldova, Tiraspol, 128, 25-go Oktiabria 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) (125329, Russia, Moscow, 64, Leningradsky Ave., e-mail: sinelnikov46@inbox.ru).