

DOI: 10.34031/2071-7318-2025-11-4-126-134

Матрохин М.А., *Немтинов В.А., Алексеев В.В.
Тамбовский государственный технический университет
*E-mail: nemtinov@mail.tstu.ru

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ПОДБОР ЭЛЕМЕНТОВ УСТАНОВКИ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ МЕТАЛЛОВ

Аннотация. Рассмотрена технология автоматизированного подбора характеристик (на примере конструкции и материалов для устройств нагрева), определяющих эффективность функционирования установки гальванического покрытия деталей, в основе которой лежит теория построения экспертных систем. Описаны постановка задачи и алгоритм ее решения. В качестве обобщенного критерия оптимальности использована сумма относительных потерь локальных критериев: ориентировочных затрат на закупку и монтаж устройств нагрева (стойкость материала устройства); технологичность проведения процессов гальванического покрытия: (долговечность материала устройства). Для решения задачи использована разработанная авторами информационно-логическая модель поддержки принятия решения при подборе элементов установки, которая в зависимости заданных значений параметров процесса гальванического покрытия, позволяет сформировать допустимое множество используемого оборудования для нагрева. Представленные результаты вычислительного и натурного эксперимента, доказали правильность полученных теоретических решений. Апробация разработанного программного комплекса, реализующего технологию автоматизированного подбора элементов установки при проведении процессов кислотного кадмирования и кислотного цинкования мелких деталей показала ее высокую эффективность. Правильность подбора конструкции устройства нагрева обеспечит непрерывную долговременную работу производства, связанного с гальваническим покрытием мелких деталей в насыпном виде.

Ключевые слова: многофункциональная установка, гальваническое покрытие насыпью, принятие решения, информационно-логическая модель, устройство нагрева, датчик уровня.

Введение. Установка гальванического покрытия, как сложная система, описывается набором свойств, выраженных характеристиками, определяющими эффективность функционирования установки. Как показали результаты теоретических и экспериментальных исследований главными критериями для эффективности функционирования являются: конструкция (корпус установки, вид системы нагрева, конструкция нагревательных элементов).

От конструкции устройства нагрева зависит стабильная работа установки, в частности: эффективный и точный контроль, регулирование температурных режимов, стоимость установки при производстве. От материала устройства нагрева напрямую зависит стойкость устройства к условиям эксплуатации [1, 2].

При протекании процессов в гальванической установке покрытия насыпью таких как щелочное цинкование, цианистое цинкование или цианистое кадмирование, возможно попадание солей этих металлов в электролит. При этом происходит образование труднорастворимых тяжелых металлов, которые выпадают в осадок, «оседающий» на всех внутренних устройствах установки. Использование устройств нагрева с открытой площадкой для осаждения не целесообразно при данных процессах, так как происходит нарастание осадка на электронагревателях, что

затрудняет передачу тепла от устройства нагрева раствору. В таких процессах целесообразнее использовать устройства нагрева, не имеющие выступов, типа колбовых электронагревателей [3, 4].

При установке дополнительного оборудования, такого как датчики температуры или датчики уровня (они непосредственно связаны с работой устройств нагрева), необходимо руководствоваться определенными правилами выбора для материала устройств нагрева.

Все эти условия непосредственно влияют на окончательную стоимость установки. Дальнейшее формирование вариантов видов конструкции установки гальванического покрытия зависит от условий эксплуатации, процесса покрытия и выбираются непосредственно изготовителем или условиями технического задания заказчика.

В работе [5] показано, что для автоматизации процесса оптимального выбора конструкции и материала устройства нагрева в установке гальванического покрытия деталей в насыпном виде эффективно применение программных комплексов (относящихся конкретно к ПК) реализующих методы оптимального решения соответствующих задач.

Вопросам оптимального выбора конструкции установки гальванического покрытия или их отдельных элементов в различных предметных

областях уделяется много внимания. Среди множества работ следует отметить следующие публикации [5 - 7]. В этих исследованиях не содержится решение поставленной задачи в явном виде.

В данной статье представлены результаты решения задачи построения процедуры автоматизации процесса принятия решения оптимального подбора характеристик установки гальванического покрытия, обеспечивающего сведение к минимуму финансовых затрат при максимальной стойкости и долговечности материала устройств нагрева, а также технологичности проведения процесса гальванопокрытия [8, 9].

Задача оптимального подбора элементов установки гальванического покрытия. Постановка задачи оптимального подбора конструкции и материала устройств нагрева в установке гальванического покрытия деталей насыпью в зависимости от заданных: наименований покрытия, температурных режимов, *ph*-среды в гальванической ванне, представлена так: нужно найти

такой тип конструкции и материал устройства нагрева, доставляющие минимум обобщенного критерия. Показатель критерия оптимальности представлен в виде суммы относительных потерь локальных критериев, взятых с определенными значениями их важности [2] (связанных с приблизительной оценкой затрат на закупку и монтаж устройств нагрева; стойкости материала устройств; долговечности материала устройств) [10–13].

Для каждого формируемого элемента множества возможных вариантов решения задачи ориентировочные затраты представляют собой сумму стоимостей закупки и монтажа нагревательных устройств, а значения других локальных критериев задаются экспертами.

Для примера на рис. 1 представлены типы форм устройств нагрева раствора в установке покрытия мелких деталей в насыпном виде. На рис. 2 показаны датчики уровня.

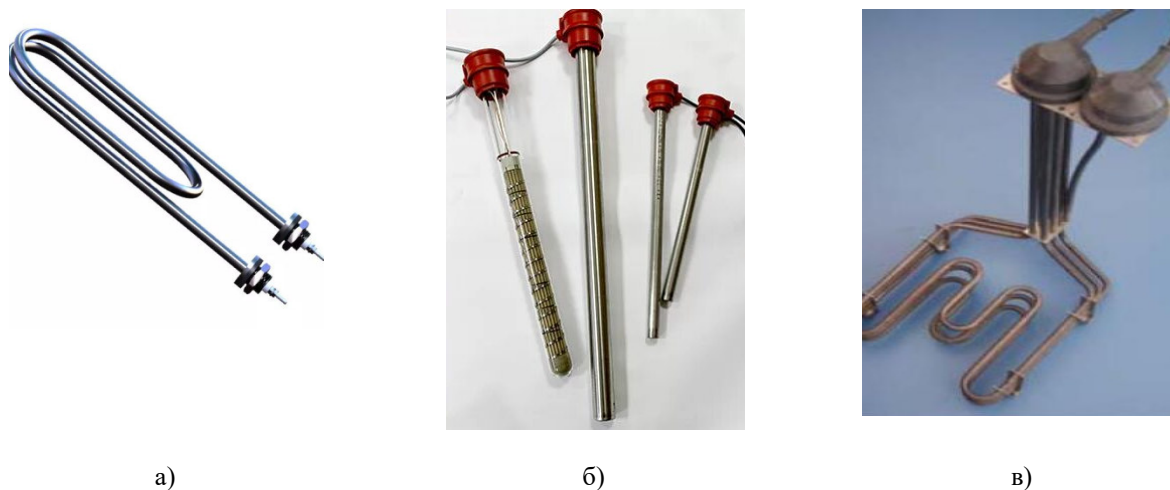


Рис. 1. Погружные нагреватели: а) U – образной формы; б) колбовый; в) L – образной формы



Рис. 2. Погружные датчики уровня: а) поплавкового типа; б) штыревого типа

Приведенные выше результаты анализа позволили сделать вывод о том, что решение задачи оптимизации конструкции и материала нагревающего устройства в установке покрытия насыпью позволяет минимизировать затраты и увеличить показатели максимальной стойкости и долговечности.

Информационно-логическая модель поддержки принятия решения. Нахождение оптимального варианта подбора типа конструкции и материала устройства нагрева в установке гальванического покрытия мелких деталей в зависимости процесса, протекающего в ней, осуществлено с использованием разработанной информационно-логической моделью поддержки принятия решения (ИЛМ), состоящей из множества продукционных правил [14–16].

Группой экспертов, в число которых входили авторы, в процессе контактов с конструкторами гальванического оборудования было сформулировано более 100 правил, построенных по типу: *если ... (определенные условия выполняются), то ... (реализуются соответствующие следствия).*

а) *Правила выбора типа конструкции электронагревательного устройства:*

а1) *если «процесс» = «никелирование», то «тип конструкции устройства нагрева» = «U – образное нагревательное устройство»;*

а2) *если «процесс» = «никелирование», то «тип конструкции устройства нагрева» = «L – образное нагревательное устройство»;*

а3) *если «процесс» = «кислое цинкование», то «тип конструкции устройства нагрева» = «U – образное нагревательное устройство»;*

а4) *если «процесс» = «кислое кадмирование», то «тип конструкции устройства нагрева» = «U – образное нагревательное устройство»;*

а5) *если «процесс» = «кислое кадмирование», то «тип конструкции устройства нагрева» = «L – образное нагревательное устройство»;*

а6) *если «процесс» = «кислое кадмирование», то «тип конструкции устройства нагрева» = «колбовое нагревательное устройство»;*

7) *если «процесс» = «кислое лужение», то «тип конструкции устройства нагрева» = «колбовое нагревательное устройство»;*

а8) *если «процесс» = «кислое «олово-висмут», то «тип конструкции устройства нагрева» = «U – образное нагревательное устройство»;*

а9) *если «процесс» = «кислое «олово-висмут», то «тип конструкции устройства нагрева» = «L – образное нагревательное устройство»;*

а10) *если «процесс» = «кислое «олово-висмут», то «тип конструкции устройства нагрева» = «колбовое нагревательное устройство»;*

...

б) *Правила выбора типа материала устройств нагрева:*

б1) *если «процесс» = «никелирование», то «материал устройства нагрева» = «титан» и «материал устройства охлаждения» = «титан»;*

б2) *если «процесс» = «цианистое цинкование», то «материал устройства нагрева» = «сталь» и «устройство охлаждения» = «не предусмотрено»;*

б3) *если «процесс» = «цианистое кадмирование», то «материал устройства нагрева» = «сталь» и «устройство охлаждения» = «не предусмотрено»;*

б4) *если «процесс» = «цианистое цинкование», то «материал устройства нагрева» = «нержавеющая сталь» и «устройство охлаждения» = «не предусмотрено»;*

б5) *если «процесс» = «цианистое кадмирование», то «материал устройства нагрева» = «нержавеющая сталь» и «устройство охлаждения» = «не предусмотрено»;*

б6) *если «процесс» = «цианистое латунирование», то «материал устройства нагрева» = «нержавеющая сталь» и «материал устройства охлаждения» = «не предусмотрен»;*

б7) *если «процесс» = «никелирование», то «материал устройства нагрева» = «кварц» и «материал устройства охлаждения» = «титан»;*

б8) *если «процесс» = «никелирование», то «материал устройства нагрева» = «фторопласт» и «материал устройства охлаждения» = «титан»;*

б9) *если «процесс» = «цианистое цинкование», то «материал устройства нагрева» = «кварц» и «устройство охлаждения» = «не предусмотрено»;*

б10) *если «процесс» = «цианистое кадмирование», то «материал устройства нагрева» = «фторопласт» и «устройство охлаждения» = «не предусмотрено»;*

...

в) *Правила выбора типа конструкции датчика уровня:*

в1) *если «процесс» = «никелирование», то «тип конструкции датчика уровня» = «поплавковый»;*

в2) *если «процесс» = «никелирование», то «тип конструкции датчика уровня» = «штыревой»;*

в3) *если «процесс» = «кислое цинкование», то «тип конструкции датчика уровня» = «поплавковый»;*

в4) *если «процесс» = «кислое цинкование», то «тип конструкции датчика уровня» = «штыревой»;*

в5) *если «процесс» = «кислое кадмирование», то «тип конструкции датчика уровня» = «штыревой»;*

в6) если «процесс» = «кислое лужение», то «тип конструкции датчика уровня» = «поплавковый»;

в7) если «процесс» = «цианистое цинкование», то «тип конструкции датчика уровня» = «штыревой»;

...

г) *Правила выбора типа материала датчика уровня:*

г1) если «процесс» = «никелирование», то «материал датчика уровня» = «титан»;

г2) если «процесс» = «кислое цинкование», то «материал датчика уровня» = «титан»;

г3) если «процесс» = «кислое кадмирование», то «материал датчика уровня» = «титан»;

г4) если «процесс» = «кислое лужение», то «материал датчика уровня» = «титан»;

г5) если «процесс» = «кислое «олово-висмут», то «материал датчика уровня» = «титан»;

г6) если «процесс» = «цианистое латунирование», то «материал датчика уровня» = «сталь»;

г7) если «процесс» = «щелочное цинкование», то «материал датчика уровня» = «титан»;

...

Для применения информационно-логической модели необходимо было создание базы данных.

В табл. 1 и табл. 2 приведены фрагменты базы данных характеристик по конструкции устройств нагрева и их материалу. Следует отметить, что в табл. 1 значение ориентировочной стоимости получено в результате округления до сотен рублей суммы средней цены устройства нагрева заводов поставщиков и затрат, связанных с его монтажом при изготовлении установки гальванического покрытия мелких деталей. В табл. 2 ориентировочная стоимость затрат на материал для изготовления устройства получена в результате округления до десятков рублей средней цены материалов заводов поставщиков.

Таблица 1

Фрагмент базы характеристик по конструкции устройств нагрева

Номер правила	Ориентировочная стоимость затрат закупки и монтажа устройства нагрева 1 шт. (руб.)	Приоритетность конструкции (баллы от 1 до 10)	Технологичность проведения процесса (баллы от 1 до 10)
a1	1000	7,3	8,2
a2	2000	6,8	7,3
a3	1000	8,2	8,5
a4	1000	8,1	9,1
a5	2000	7,5	7,2
a6	1500	10,0	9,7
a7	1500	10,0	9,8
a8	1000	8,2	8,5
a9	2000	6,2	6,7
a10	1500	9,3	9,2
...

Следует отметить, что при оценке долговечности не учитывались форс-мажорные обстоятельства, такие как физическое воздействие на устройства нагрева и не аккуратное обращение.

Результатом работы с применением модели поддержки принятия решений по подбору конструкций и материалов для устройств нагрева в установке гальванического покрытия деталей насыпью является сформированное множество вариантов, обладающих разной эффективностью [17]. В настоящее время размерность множества сформированных вариантов не превышает 200, поэтому поиск оптимального варианта осуществляется методом полного их перебора.

Результаты исследования. При реализации технологии автоматизированного подбора элементов установки гальванического покрытия де-

талей в насыпном виде авторами разработан программный комплекс и апробирован в АО «ТАГАТ» им. С. И. Лившица (г. Тамбов) при разработке установки для проведения процесса кислото кадмирования и кислото цинкования.

В решении данной задачи использовался программный комплекс для ПК: «Программа гальванических расчетов (свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ)» Свидетельство о государственной регистрации программы № 2020662780. Дата рег. 19.10.2020.

Данная программа написана на языке программирования Visual Basic.

Использование программного комплекса позволяет по габаритам установки и базовым параметрам процесса покрытия (температура процесса, время нагрева, вид нагрева (электрический или паровой)) деталей, определить количество

потребляемой энергии для проведения реакции в установке. В свою очередь это дает представление о конструкции нагревающего элемента, и

влечёт за собой решение по удалению выделяемого тепла.

Таблица 2

Фрагмент базы характеристик по материалу устройств нагрева

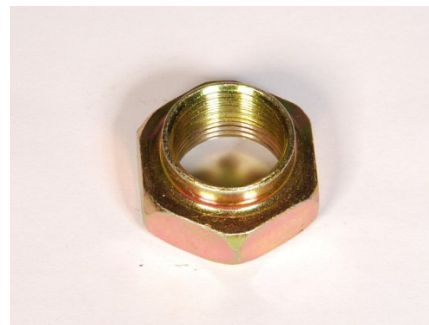
Номер правила	Ориентировочная стоимость затрат на материал для изготовления устройства нагрева 1 шт. (руб.)	Коррозионная стойкость материала (баллы от 1 до 10)	Технологичность проведения процесса (баллы от 1 до 10)	Долговечность материала (баллы от 1 до 10)
61	700	10,0	8,7	9,8
62	100	5,5	9,1	4,8
63	100	5,5	9,2	4,8
64	250	9,8	10,0	7,8
65	250	9,7	9,2	7,8
66	250	10,0	8,5	8,1
67	500	10,0	9,3	8,7
68	700	10,0	9,3	10,0
69	500	10,0	10,0	9,2
610	700	9,8	10,0	10,0
...

Для данных процессов покрытия было выбрано устройство нагрева U – образной формы из материала оболочки – нержавеющая сталь, а для кадмиевого покрытия гаек используется устрой-

ство нагрева колбового типа из материала оболочки – углеродистая сталь. На рис. 3(а, б) – представлены изделия после кадмиевого покрытия, а на рис. 4(а, б) – изделия после процесса цинкования.



а)



б)

Рис. 3. Кадмированные детали: а) – болты, б) – гайка



а)



б)

Рис. 4. Оцинкованные детали: в) втулки, г) шпильки

Как показали результаты исследования, процесс автоматизированного принятия решения подбора параметров конструкции и материала устройств нагрева в установке покрытия насыпью является параметрическим. Для решения этой задачи разработан программно-аппаратный комплекс с применением интегрированных комплексов анализа и синтеза решений.

Выводы. В результате проведенного исследования разработана технология автоматизированного подбора элементов установки гальванического покрытия деталей в насыпном виде, в основе которой лежит теория построения экспертных систем. Описана постановка задачи оптимального подбора типа конструкции и материала устройств нагрева, а также вспомогательного оборудования, таких как датчиков уровня и температуры. Разработана ИЛМ поддержки принятия решения при их подборе, позволяющая, в зависимости от заданных процессов покрытия мелких деталей, обрабатываемых в насыпном виде, найти оптимальный вариант конструкции устройств нагрева в установке. Экспертами и авторами в процессе контактов с конструкторами гальванического оборудования было сформулировано более 100 правил, построенных по типу: *если ... (определенные условия выполняются), то ... (реализуются соответствующие следствия)*. Апробация разработанного программного комплекса в АО «ТАГАТ» им. С. И. Лившица (г. Тамбов), реализующего технологию автоматизированного подбора элементов установки при проведении процессов кислого кадмирования и кислого цинкования мелких деталей показала ее высокую эффективность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Глебов А.О., Карпушкин С.В., Малыгин Е.Н. Проектирование устройств равномерного стационарного нагрева с применением метода эволюционной топологической оптимизации // Инженерно-физический журнал. 2022. Т. 95, № 6. С. 1419–1431. EDN ZMEMZT.

2. Karpushkin S.V., Krasnyanskiy M.N., Mokrozub V.G. Problems of the equipment choice for existing multiproduct chemical plants // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 709(2), Issue 1. 022029. DOI: 10.1088/1757-899X/709/2/022029. EDN OHXAJY.

3. Глебов А.О., Карпов С.В., Карпушкин С.В. Методика расчета температурных полей электрических спиральных нагревателей с использованием стационарных адиабатических поверхностей // Вестник машиностроения. 2018. № 7. С. 34–40. EDN XUECPR.

4. Винокуров Е.Г., Бурухина Т.Ф., Гусева Т.В. Гальваническое производство в России: оценочный подход, задачи повышения ресурсной и экологической эффективности // Технология металлов. 2020. № 7. С. 2–6.

5. Караваев В.И., Литовка Ю.В., Коробова И.Л. Расчёт наиболее равномерного гальванопокрытия с учётом изменения концентрации компонентов электролита // Журнал прикладной химии. 2006. Т. 79, № 11. С. 1820–1824.

6. Solovjev, D.S., Solovjeva I.A., Konkina V.V. Software Development for the Optimal Parts Location in the Bath Space with the Purpose to Reduce the Non-uniformity of the Coating Thickness // Proceedings of the 6th International Conference on Industrial Engineering. Lecture Notes in Mechanical Engineering. 2021. Vol. II. Pp. 85–93. DOI: 10.1007/978-3-030-54817-9_10

7. Соловьев Д.С. Методология поддержки принятия решений при интеллектуальном управлении технологическими системами производства гальванических покрытий // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2024. Т. 30, № 4. С. 538–546.

8. Немтинов В.А., Родина А.А., Немтинова Ю.В. Разработка электронной модели гальванической системы // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2019. Т. 25. № 4. С. 567–579. DOI: 10.17277/vestnik.2019.04.pp.567-579.

9. Борисенко А.Б., Храмцов В.В., Немтинов В.А. Разработка конструкции установки химического никелирования, функционирующей в составе гальванической линии // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2021. Т. 27. № 2. С. 275–284. DOI: 10.17277/vestnik.2021.02.pp.275-284.

10. Рыбина Г. В. Применение интеллектуального анализа данных для построения баз знаний интегрированных экспертных систем // Авиакосмическое приборостроение. 2012. № 11. С. 36–53.

11. Мокрозуб В.Г., Малыгин Е.Н., Карпушкин С. В. Системный анализ процессов принятия решений при разработке технологического оборудования // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2017. Т. 23, № 3. С. 364–373. DOI: 10.17277/vestnik.2017.03.pp.364-373

12. Мокрозуб В.Г., Малыгин Е.Н., Карпушкин С.В. Постановка задачи разработки математического и информационного обеспечения процесса проектирования многоассортиментных химических производств // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2017. Т. 23, № 2. С. 252–264. DOI: 10.17277/vestnik. 2017.02.pp.252-264.

13. Nemtinov V.A., Zazulya A.N., Kapustin V.P., Nemtinova Yu.V. Analysis of Decision-Making Options in Complex Technical System Design // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1278(1). 012018. DOI: 10.1088/1742-6596/1278/1/012018

14. Portela D.G., Porto M.B., de Almeida Neto A.F. Parameters variation on Ni–Co–W coating electroplating to evaluate improvements in morphology and corrosion resistance J. of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering. 2019. 41(12). 574. DOI: 10.1007/s40430019-2081-4

15. Копырин А.С., Копырина А.О. Построение типовой системы правил вывода по базе знаний // Программные системы и вычислительные методы. 2021. № 1. С. 1–9.

16. Мокрозуб В.Г., Немтинов В.А., Егоров С.Я. Информационно-логические модели технических объектов и их представление в информационных системах // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2010. № 3. С. 68–73.

17. Немтинов В.А., Матрохин М.А., Немтинова Ю.В., Крылов А.В. Усовершенствование конструкции установки гальванического цинкования мелких деталей чёрных металлов в насыпном виде // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2020. Том 26. № 3. С. 472–478. DOI: 10.17277/vestnik.2020.03.pp.472-482.

Информация об авторах

Матрохин Михаил Александрович, аспирант кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении». E-mail: snakerm@yandex.ru. Тамбовский государственный технический университет. Россия, 392000, Тамбов, ул. Советская, д. 106/5 пом. 2.

Немтинов Владимир Алексеевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении». E-mail: nemtinov@mail.tstu.ru. Тамбовский государственный технический университет. Россия, 392000, Тамбов, ул. Советская, д. 106/5 пом. 2.

Алексеев Владимир Витальевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Информационные системы и защита информации». E-mail: vvalex1961@yandex.ru. Тамбовский государственный технический университет. Россия, 392000, Тамбов, ул. Советская, д. 106/5 пом. 2.

Поступила 30.09.2025 г.

© Матрохин М.А., Немтинов В.А., Алексеев В.В., 2026

*Matrokhin M.A., *Nemtinov V.A., Alekseev V.V.*

Tambov State Technical University

**E-mail: nemtinov@mail.tstu.ru*

AUTOMATED SELECTION OF ELECTROPLATING INSTALLATION ELEMENTS FOR BULK PARTS

Abstract. The technology of automated selection of characteristics (using the example of designs and materials for heating devices) that determine the effectiveness of the electroplating system of parts, which is based on the theory of building expert systems, is considered. The problem statement and the algorithm of its solution are described. The sum of relative losses of local criteria is used as a generalized criterion of optimality: estimated costs for the purchase and installation of heating devices (durability of the device material); manufacturability of electroplating processes: (durability of the device material). To solve the problem, an information and logical model developed by the authors was used to support decision-making in the selection of installation elements, which, depending on the set values of the parameters of the electroplating process, allows forming an acceptable set of used heating equipment. The presented results of the computational and field experiment proved the correctness of the theoretical solutions obtained. The correct selection of the heating device design will ensure continuous long-term operation of the production associated with electroplating of small parts in bulk.

Keywords: multifunctional installation, bulk electroplating, decision making, information logic model, heating device, level sensor.

REFERENCES

1. Glebov A.O., Karpushkin S.V., Malygin E.N. Design of uniform stationary heating devices using the method of evolutionary topological optimization.

[Proektirovanie ustrojstv ravnomernogo stacionarnogo nagreva s primeneniem metoda e'volucionnoj topologicheskoy optimizacii]. Engineering and Physics Journal. 2022. Vol. 95(6). Pp. 1419–1431. (rus)

2. Karpushkin S.V., Krasnyanskiy M.N., Mokrozub V.G. Problems of the equipment choice for existing multiproduct chemical plants // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 709(2), Issue 1. 022029. DOI: 10.1088/1757-899X/709/2/022029.
3. Glebov A.O., Karpov S.V., Karpushkin S.V. Method of calculating temperature fields of electric spiral heaters using stationary adiabatic surfaces [Method of calculating temperature fields of electric spiral heaters using stationary adiabatic surfaces]. Vestnik mashinostroeniya. 2018. No. 7. Pp. 34–40. (rus)
4. Vinokurov E.G., Burukhina T.F., Guseva T.V. Electroplating in Russia: an evaluative approach, tasks of increasing resource and environmental efficiency [Gal'vanicheskoe proizvodstvo v Rossii: ocenochny'j podxod, zadachi povy'sheniya resursnoj i e'kologicheskoy e'ffektivnosti]. Technology of metals. 2020. No. 7. Pp. 2–6. (rus)
5. Karavaev V.I., Litovka Yu.V., Korobova I.L. Calculation of the most uniform electroplating taking into account changes in the concentration of electrolyte components [Raschyot naibolee ravnomernogo gal'vanopokry'tiya s uchytom izmeneniya koncentracii komponentov e'lektrolita]. Journal of Applied Chemistry. 2006. Vol. 79, No. 11. Pp. 1820–1824. (rus)
6. Solovjev, D.S., Solovjeva I.A., Konkina V.V. Software Development for the Optimal Parts Location in the Bath Space with the Purpose to Reduce the Non-uniformity of the Coating Thickness // Proceedings of the 6th International Conference on Industrial Engineering. Lecture Notes in Mechanical Engineering. 2021. Vol. II. Pp. 85–93. DOI: 10.1007/978-3-030-54817-9_10
7. Solovyov D.S. Methodology of decision support in the intelligent management of technological systems for the production of electroplating coatings [Metodologiya podderzhki prinyatiya reshenij pri intellektual'nom upravlenii texnologicheskimi sistemami proizvodstva gal'vanicheskix pokry'tij]. Transactions of the Tambov State Technical University. 2024. Vol. 30, No. 4. Pp. 538–546. (rus)
8. Nemtinov V.A., Rodina A.A., Nemtinova Yu.V. Development of an electronic model of a galvanic system [Razrabotka e'lektronnoj modeli gal'vanicheskoy sistemy']. Transactions of the Tambov State Technical University. 2019. Vol. 25. No. 4. Pp. 567–579. DOI: 10.17277/vestnik.2019.04.pp.567-579. (rus)
9. Borisenko A.B., Khramtsov V.V., Nemtinov V.A. Design development of a chemical nickel plating plant operating as part of a galvanic line [Razrabotka konstrukcii ustanovki ximicheskogo nikelirovaniya, funkcioniruyushhej v sostave gal'vanicheskoy linii]. Transactions of the Tambov State Technical University. 2021. Vol. 27. No. 2. Pp. 275–284. doi: 10.17277/vestnik.2021.02.pp.275-284. (rus)
10. Rybina G.V. Application of data mining for building knowledge bases of integrated expert systems [Primenenie intellektual'nogo analiza danny'x dlya postroeniya baz znaniy integrirovanny'x e'kspertny'x system]. Aerospace instrumentation. 2012. No. 11. Pp. 36–53. (rus)
11. Mokrozub V.G., Malygin E.N., Karpushkin S.V. System analysis of decision-making processes in the development of technological equipment [Sistemny'j analiz processov prinyatiya reshenij pri razrabotke texnologicheskogo oborudovaniya]. Transactions of the Tambov State Technical University. 2017. Vol. 23, No. 3. Pp. 364–373. DOI: 10.17277/vestnik.2017.03.pp.364-373. (rus)
12. Mokrozub V.G., Malygin E.N., Karpushkin S.V. Formulation of the problem of developing mathematical and information support for the design process of multiassortment chemical industries [Postanovka zadachi razrabotki matematicheskogo i informacionnogo obespecheniya processa proektirovaniya mnogoassortimenny'x ximicheskix proizvodstv]. Transactions of the Tambov State Technical University. 2017. Vol. 23, No. 2. Pp. 252–264. DOI: 10.17277/vestnik.2017.02.pp.252-264. (rus)
13. Nemtinov V.A., Zazulya A.N., Kapustin V.P., Nemtinova Yu.V. Analysis of Decision-Making Options in Complex Technical System Design // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1278(1). 012018. DOI: 10.1088/1742-6596/1278/1/012018
14. Portela D.G., Porto M.B., de Almeida Neto A.F. Parameters variation on Ni–Co–W coating electroplating to evaluate improvements in morphology and corrosion resistance J. of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering. 2019. 41(12). 574. DOI: 10.1007/s40430019-2081-4
15. Kopyrin A.S., Kopyrina A.O. Building a standard system of inference rules based on a knowledge base [Postroenie tipovoj sistemy` pravil vy`voda po baze znaniy]. Software systems and computational methods. 2021. No. 1. Pp. 1–9.
16. Mokrozub V.G., Nemtinov V.A., Egorov S.Ya. Information-logical models of technical objects and their representation in information systems [Informacionno-logicheskie modeli texnicheskix ob`ektov i ix predstavlenie v informacionny'x sistemax]. Information technologies in design and production. 2010. No. 3. Pp. 68–73. (rus)
17. Nemtinov V.A., Matrokhin M.A., Nemtinova Yu.V., Krylov A.V. Improvement of the design of the galvanizing plant for small ferrous metal parts in bulk [Uovershenstvovanie konstrukcii ustanovki gal'vanicheskogo cinkovaniya melkix detalej chyorny'x metallov v nasy'pnom vide]. Transactions of

the Tambov State Technical University. 2020. Vol. 26. No. 3. Pp. 472–478. DOI: 10.17277/vestnik.2020.03.pp.472-482. (rus)

Information about the authors

Matrokhin, Mikhail A. graduate student. E-mail: snakerm@yandex.ru. Tambov State Technical University, Sovetskaya str., 106/5 room 2, Tambov, 392000, Russian Federation

Nemtinov, Vladimir A. Doctor of Technical Sciences, Professor. E-mail: nemtinov@mail.tstu.ru. Tambov State Technical University, Sovetskaya str., 106/5 room 2, Tambov, 392000, Russian Federation

Alekseev, Vladimir V. Doctor of Technical Sciences, Professor. E-mail: tdmitrieva-bel@yandex.ru. Tambov State Technical University, Sovetskaya str., 106/5 room 2, Tambov, 392000, Russian Federation.

Received 30.09.2025

Для цитирования:

Матрохин М.А., Немтинов В.А., Алексеев В.В. Автоматизированный подбор элементов установки гальванического покрытия деталей из металлов. Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2026. № 4. С. 126–134. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-11-4-126-134

For citation:

Matrokhin M.A., Nemtinov V.A., Alekseev V.V. Automated selection of electroplating installation elements for bulk parts. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2026. No. 4. Pp. 126–134. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-11-4-126-134