

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ВЫБОРУ ВИДА ПОГРУЖНОГО БАРАБАНА В УСТАНОВКЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ ДЕТАЛЕЙ В НАСЫПНОМ ВИДЕ

М. А. Матрохин, В. А. Немтинов✉, С. Я. Егоров

*Кафедра «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении»,
nemtinov@mail.tstu.ru; ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, Россия*

Ключевые слова: анод; гальванический барабан; информационно-логическая модель; многофункциональная установка гальванического покрытия деталей насыпью; перфорация; принятие решений; электролит.

Аннотация: Рассмотрен подход к автоматизированному выбору вида погружного барабана и формы токопроводящего анода в установке гальванического покрытия деталей насыпью, базирующийся на использовании теории построения экспертных систем. Поставлена и решена задача оптимального выбора вида погружного барабана и формы токопроводящего анода. Рассмотрены вопросы построения информационно-логической модели поддержки принятия решений при их выборе, позволяющей в зависимости от заданных формы и размеров обрабатываемых деталей в насыпном виде найти оптимальный вариант вида погружного барабана и формы токопроводящего анода в установке. Для подготовки конструкторской документации многофункциональной установки гальванического покрытия деталей насыпью разработаны цифровые параметрические модели возможных видов барабанов и токопроводящих анодов в системе SolidWorks. Разработан программный комплекс, реализующий решение поставленной задачи, и апробирован при проведении процесса цинкования мелких деталей (шпилек, втулок, гаек).

Введение

Основной проблемой при покрытии мелких деталей в гальваническом барабане является унос (забор) из ванны раствора электролита. Унос электролита влечет за собой как потерю времени при цикличности процесса, так и финансовые затраты. При уносе электролита из процессной ванны он попадает в ванну промывки, что в последствии влечет за собой затраты временные на добавление промывных вод, а также финансовые – на привлечение нейтрализующих веществ для очищения впоследствии промывных стоков. Затраты на приобретение и пополнение электролита являются приоритетными составляющими при проведении процессов покрытия [1 – 3].

Во время использования гальванических барабанов предусмотрены приводы вращения для лучшего перемешивания деталей внутри, а также для опустошения барабана от электролита. В момент подъема барабана и вывешивания над технологической позицией происходит полное удаление излишков влаги.

В работе рассмотрены вопросы автоматизированного выбора вида погружного барабана и формы токопроводящего анода в установке гальванического покрытия деталей насыпью, обеспечивающего сведение к минимуму потери времени при цикличности процесса гальванопокрытия, а также финансовые затраты.

Задача оптимального выбора вида погружного барабана и формы токопроводящего анода в установке гальванического покрытия деталей насыпью

В формализованном виде постановку задачи оптимального выбора вида погружного барабана и формы токопроводящего анода в установке гальванического покрытия деталей насыпью в зависимости от заданных формы и размеров обрабатываемых деталей в насыпном виде, наименований покрытия представим следующим образом: необходимо найти такой вид погружного барабана и форму токопроводящего анода, чтобы при выполнении:

– условия

$$Tx_i^{\min} \leq Tx_i \leq Tx_i^{\max}, \quad i=1,2,\dots,N, \quad (1)$$

где Tx_i , $Tx_i^{\min}$, $Tx_i^{\max}$ – соответственно текущее и предельные значения i -й характеристики погружного барабана и формы токопроводящего анода; N – количество характеристик;

– оператора, представляющего математическую модель поддержки принятия решения при проведении технологических процессов гальванического покрытия деталей в насыпном виде, включающую в себя информацию о форме и размерах обрабатываемых деталей, наименований покрытий, временах цикличности проведения технологического процесса, затратах на пополнение электролита после очередного его цикла, справедливо следующее положение:

$$k_{\text{opt}} = \arg \min Q(k), \quad k \in K. \quad (2)$$

Критерий оптимальности Q представлен в виде суммы относительных потерь критериев, взятых с определенными значениями их важности: ориентировочных приведенных затрат на реализацию технологических процессов гальванических покрытий, технологичности их проведения, а также среднего времени цикличности процесса в зависимости от вида погружного барабана и формы токопроводящего анода:

$$Q(k) = \sum_{j=1}^3 (\rho_j \varpi_j(k)), \quad (3)$$

где $\rho_j \varpi_j(k)$ – взвешенные потери по каждому j -му критерию; $\rho_j \varpi_j(k) = \varpi_j(F_j(k))$, $j=1,\dots,3$, $k \in K$ – функциональные зависимости, преобразующие соответствующие функции $F_j(k)$ к безразмерному виду; $F_1(k)$ – ориентировочные затраты на реализацию технологических процессов гальванических покрытий деталей в насыпном виде; $F_2(k)$, $F_3(k)$ – соответственно значения технологичности процессов их проведения и времени стекания из гальванического барабана в зависимости от вида барабана и формы токопроводящего анода. Для функций $F_1(k)$ и $F_3(k)$ будем искать минимум, для функции $F_2(k)$ – максимум; ρ_1 , ρ_2 , ρ_3 – весовые коэффициенты, заданные экспертами,

$$\rho = \left\{ \rho_j : \rho_j \geq 0, \quad j=1,2,3; \quad \sum_{j=1}^3 \rho_j = 1 \right\}, \quad (4)$$

Для определения времени стекания электролита из гальванического барабана при вывешивании его над технологической позицией необходимо учитывать плотность засыпаемых деталей, процент заполнения объема барабана, а также размер перфорации для определения коэффициента перфорированности поверхности барабана.

Функциональные зависимости, преобразующие функции $F_j(k)$ к безразмерному виду, запишем как:

$$\varpi_l(k) = \frac{F_l(k) - F_l^0}{F_l^{\max} - F_l^0}, l = 1, 3; \quad \varpi_2(k) = \frac{F_2^0(k) - F_2(k)}{F_2^0 - F_2^{\min}}, \quad (5)$$

здесь $F_1^{\max}$, $F_3^{\max}$ – максимальные значения функций $F_1(k)$ и $F_3(k)$, для которых выполняется поиск минимума; $F_2^{\min}$ – минимальное значение функции $F_2(k)$, для которой выполняется поиск максимума; F_1^0 , F_2^0 , F_3^0 – оптимальные значения соответствующих $F_j(k)$, $j = 1, 2, 3$.

При решении задачи (1) – (5) задаются значения коэффициентов ρ_j , $j = 1, \dots, 3$, удовлетворяющие соотношению (4) и отражающие относительную значимость критериев $F_j(k)$.

Для каждого k -го формируемого множества возможных вариантов решения задачи ориентировочные приведенные затраты $F_1(k)$ представляют собой сумму стоимостей отдельных стадий процесса, а $F_2(k)$ и $F_3(k)$ задаются экспертами соответственно как произведения значений технологичности и времени стекания электролита из гальванического барабана, входящих в k -й вариант формируемого множества решений.

Исходными данными при постановке задачи выбора модели погружного гальванического барабана являются размеры обрабатываемых деталей, их количество. Градация типов форм и размеров обрабатываемых деталей представляет перечень максимально и минимально допустимых габаритных типоразмеров при выборе перфорированной решетки.

На рисунке 1 представлены типы барабанов по форме перфорирующих элементов: барабаны соответственно с прямоугольной и круглой перфорациями всей максимальной площади поверхности барабана (рис. 1, а, б); барабан с вырезами под перфорированные фильеры (рис. 1, в). Производство того или иного типа и конструкции барабана зависит от технологий производства и предпочтений заказчика.

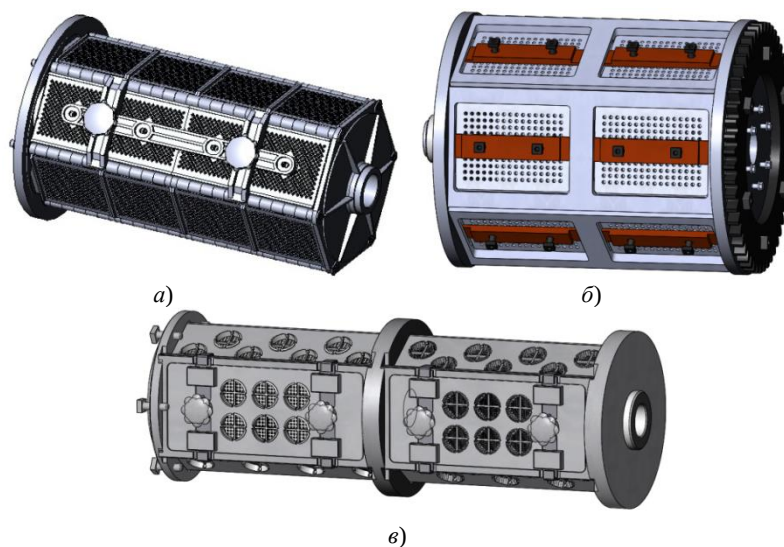


Рис. 1. Погружные гальванические барабаны под прямоугольную и круглую перфорации (а, б) и под цилиндрические фильеры (в)



Рис. 2. Сечение перфорированного отверстия

Зависимость между размерами и формами деталей, покрываемых в гальваническом барабане, и сечением перфорированного отверстия является прямой. Если производить покрытие более мелких деталей с габаритными размерами 3...5 мм и не превышающими 20 мм, форма и вид деталей не важен, тип барабана (см. рис. 1, а, б) приоритетнее, так как слив электролита произойдет быстрее при поднятии барабана. Таким образом, выбирать тип барабана следует с наименьшей застойной зоной и большей общей площадью перфорированных отверстий. Если детали имеют заостренные наконечники, такие как винты,

спицы, болты, шпильки, то сечение перфорации должно выглядеть по типу зауженного конуса или параллелепипеда внутрь барабана (рис. 2). Такой тип перфорации максимально препятствует попаданию деталей в перфорированное отверстие заостренными частями, не мешая при этом плановой циркуляции электролита в барабане.

Для деталей более крупных размеров 20...100 мм и преимущественно объемной формы, таких как цилиндры, габаритные метизы, бобышки, приемлемым выбором будет тип барабана, показанный на рис. 1, в. Так как деталей таких размеров будет меньше в барабане, электролит равномернее покроет их поверхности. Производство таких барабанов будет дешевле и технологически проще в плане изготовления.

Как отмечено выше, время стекания электролита из гальванического барабана при вывешивании его над технологической позицией зависит от плотности засыпаемых деталей, процента заполнения объема барабана, а также размера перфорации. В связи со сложностью получения строгой математической зависимости времени от этих параметров использовали качественную оценку. В работе она представлена термами: «быстро», «умеренно быстро», «не очень быстро», «медленно», «умеренно медленно», «очень медленно» и др. Для количественной оценки времени (лингвистической переменной) и сравнения ее с другими вариантами формируемого множества решения задачи (1) – (5) необходимо определить четкие значения ее термов, которые бы позволили осуществить переход от нечетких значений к числовым. Значение времени h , описанное Л-функцией принадлежности, в качестве центра максимума будет принимать величину h_j^* , а при описании

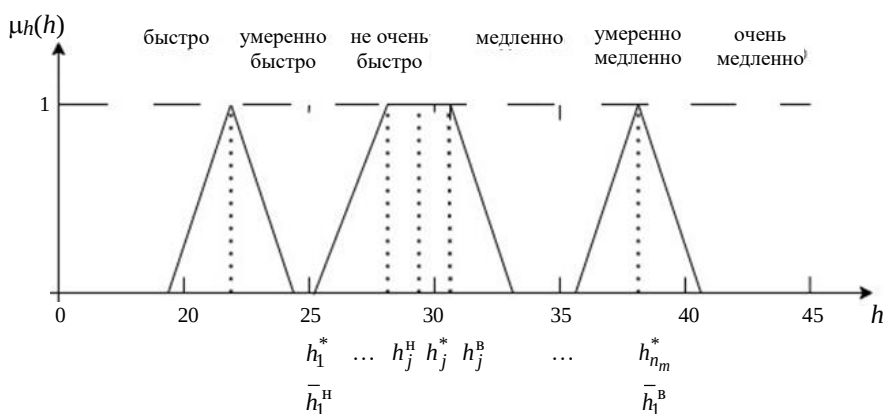


Рис. 3. Дефазификация нечетких данных при оценке времени стекания электролита

П-функцией – $h_j^* = (h_j^B + h_j^H)/2$ (рис. 3). Для нахождения взвешенного значения h использована формула

$$h = \frac{\sum_{j=1}^n \bar{\rho}_j h_j^*}{\sum_{j=1}^n \bar{\rho}_j}, \quad (6)$$

где $\bar{\rho}_j$ – коэффициент значимости значения времени для j -й группы экспертов.

Пусть

– для Л-функции

$$\bar{\rho}_j = 1; \quad (7)$$

– для П-функции

$$\bar{\rho}_j = \frac{h_j^B - h_j^H}{\bar{h}^B - \bar{h}^H}, \quad (8)$$

где $\bar{h}^H, \bar{h}^B$ – соответственно нижняя и верхняя границы диапазона изменения значения времени h .

Практические исследования показали, что форма токопроводящего анода также влияет на качество покрытия деталей в зависимости от типа анодов. Для более мелких деталей необходимо использовать барабан с погружными анодами (рис. 4, а). Для деталей кольцевой формы приоритетно использовать барабан со сплошным анодом для постоянного соприкосновения внутренней поверхности кольца с токопроводящим анодом (рис. 4, б).

Для поиска оптимального варианта выбора вида погружного барабана и формы токопроводящего анода в установке гальванического покрытия деталей насыпью в зависимости от заданных формы и размеров обрабатываемых деталей в насыпном виде разработана информационно-логическая модель поддержки принятия решений, включающая в себя множество продукционных правил [9 – 11].

Информационно-логическая модель поддержки принятия решения

В качестве примера приведем ряд правил, с помощью которых можно сформировать множество возможных вариантов видов погружного барабана и формы токопроводящего анода. Продукционные правила, входящие в состав модели, построены по типу: *если ... (условия выполняются), то ... (реализация следствия)*.

В настоящее время база содержит более 150 правил, отобранных экспертами и авторами в процессе контактов с конструкторами гальванического оборудования, для деталей, обрабатываемых в насыпном виде максимального габаритного размера 30×100 мм.

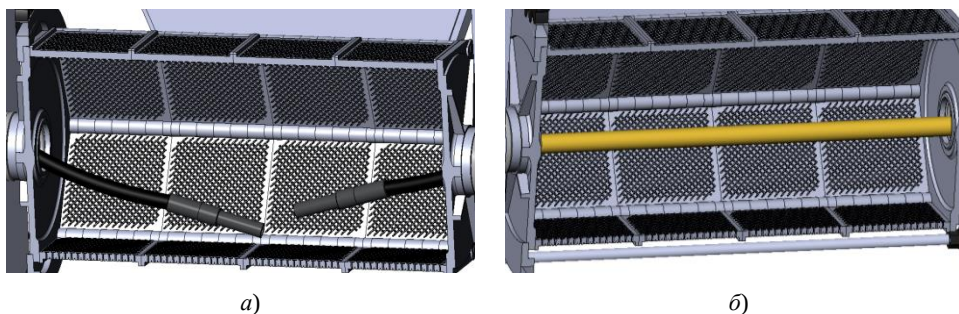


Рис. 4. Барабан с погружными (а) и сплошным (б) анодами

Приведем фрагмент базы правил.

А) Правила выбора типа погружного барабана:

1) *если «размер детали» = «от 1,0 до 50,0 мм», то «тип барабана» = «перфорированная решетка» (см. рис. 1, а, б);*

2) *если «размер детали» = «от 50,0 до 100,0 мм» и «форма детали» = «деталь плоской формы», то «тип барабана» = «перфорированная решетка» или «тип барабана» = «фильера» (см. рис. 1, а – в);*

3) *если «размер детали» от «15,0 до 100,0 мм» и «форма детали» = «цилиндры, габаритные метизы, бобышки», то «тип барабана» = «со съёмными фильерами» (см. рис. 1, в);*

4) *если «форма детали» = «деталь плоской формы», то «тип барабана» = «перфорированная решетка» (см. рис. 1, а, б);*

5) *если «форма детали» = «деталь имеет заостренные наконечники», то «перфорация» = «конусного (параллелепипедного) типа меньшим сечением внутрь барабана» (см. рис. 2).*

Б) Правила выбора размера перфорации погружного барабана:

6) *если «размер детали» = «от 2,0 до 3,5 мм» и «форма детали» = «шарообразная форма», то «форма перфорации» = «прямоугольная», «размер перфорации» = «1,0 × 1,0 мм» или «форма перфорации» = «круглая», «размер перфорации» = « $\varnothing$ 1 мм»;*

7) *если «размер детали» = «от 4,0 до 6,0 мм» и «форма детали» = «шарообразная форма», то «форма перфорации» = «прямоугольная» и «размер перфорации» = «3,0 × 3,0 мм» или «форма перфорации» = «круглая» и «размер перфорации» = « $\varnothing$ 3 мм»;*

8) *если «размер детали» = «от 6,5 до 10,0 мм» и «форма детали» = «шарообразная форма», то «форма перфорации» = «прямоугольная» и «размер перфорации» = «5,0 × 5,0 мм» или «форма перфорации» = «круглая» и «размер перфорации» = « $\varnothing$ 5 мм»;*

9) *если «размер детали» = «от 11 до 50,0 мм» и «форма детали» = «шарообразная форма», то «форма перфорации» = «прямоугольная» и «размер перфорации» = «7,0 × 7,0 мм» или «форма перфорации» = «круглая» и «размер перфорации» = « $\varnothing$ 7,0 мм»;*

10) *если «размер детали» = «от 2,0 × 10,0 мм до 5,0 × 20,0 мм», то «размер перфорации» = «1,5 × 15 мм»;*

11) *если «размер детали» = «от 3,5 × 15,0 мм до 5,0 × 20,0 мм», то «размер перфорации» = «3,0 × 12 мм»;*

12) *если «размер детали» = «от 5,5 × 20,0 мм до 15,0 × 50,0 мм», то «размер перфорации» = «5,0 × 15,0 мм»;*

13) *если «размер детали» = «от 15,5 × 50,5 мм до 50,0 × 100,0 мм», то «размер перфорации» = «12,0 × 30,0 мм»;*

14) *если «форма детали» = «шпилька гнутая» и «размер детали» = «от $\varnothing$ 1 до $\varnothing$ 5 мм длиной до 25 мм», то «размер перфорации» = «5 мм»;*

15) *если «форма детали» = «шпилька гнутая» и «размер детали» = «от $\varnothing$ 5,5 мм до $\varnothing$ 100,0 мм», то «форма перфорации» = «прямоугольная» и «размер перфорации» = «3,0 × 3,0 мм» или «форма перфорации» = «круглая» и «размер перфорации» = « $\varnothing$ 3,0 мм»;*

16) *если «форма детали» = «пластина» и «размер детали» = «от 0,5 × 10,0 × 10,0 до 5,0 × 50,0 × 50,0 мм», то «форма перфорации» = «прямоугольная» и «размер перфорации» = «от 3,5 × 3,5 мм до 5,0 × 5,0 мм» или «форма перфорации» = «круглая» и «размер перфорации» = « $\varnothing$ 5,0 мм»;*

17) если «форма детали» = «пластина» и «размер детали» = «от 1,0 × 30 × 50 до 5,0 × 30 × 100 мм», то «форма перфорации» = «прямоугольная» и «размер перфорации» = «от 5,0 × 5,0 до 7,0 × 7,0 мм» или «форма перфорации» = «круглая» и «размер перфорации» = «Ø 5,0 мм»;

18) если «форма детали» = «шток» и «размер детали» = «от Ø 10 до Ø 50 мм длиной до 100 мм», то «форма перфорации» = «прямоугольная» и «размер перфорации» = «7,0 × 7,0 мм» или «форма перфорации» = «круглая» и «размер перфорации» = «Ø 7,0 мм»;

19) если «форма детали» = «кольцо» и «размер детали» = «от Ø 10 до Ø 50 мм», то «форма перфорации» = «прямоугольная» и «размер перфорации» = «7,0 × 7,0 мм» или «форма перфорации» = «круглая» и «размер перфорации» = «Ø 7,0 мм»;

20) если «форма детали» = «шток» и «размер детали» = «от Ø 10 мм до Ø 30 мм длиной более 100 мм», то «форма перфорации» = «прямоугольная» и «размер перфорации» = «5,0 × 20,0 мм» или «форма перфорации» = «круглая» и «размер перфорации» = «Ø 7,0 мм».

В) Правила выбора типа анодов:

21) если «форма детали» = «насыпного вида», то «тип анодов» = «погружной» (см. рис. 4, а);

22) если «форма детали» кольцеобразного вида», то «тип анода» = «сплошной» (см. рис. 4, б).

Для большинства гальванических процессов покрытия деталей в насыпном виде, таких как кадмирование, цинкование, серебрение, латунирование, никелирование, для барабана возможно использовать материал полипропилен. В данном исследовании сделано допущение о том, что материал не будет влиять на ценообразование при производстве барабана.

Информация о характеристиках технологических процессов приведена в табл. 1.

Таблица 1

Фрагмент базы характеристик технологических процессов

Номер правила	Ориентировочная стоимость приведенных затрат производства гальванического барабана, р.	Технологичность (баллы от 1 до 10)	Время стекания электролита из барабана, с
...	...	...	
8	8 000	10	39,7
9	7 800	7	33,4
10	7 750	7	27,2
11	7 700	8	28,3
12	7 600	7	25,5
13	8 200	8	22,7
14	7 200	9	28,3
15	8 000	10	32,4
16	10 000	8	40,1
...	...	...	

В результате реализации модели поддержки принятия решений по выбору вида погружного барабана и формы токопроводящего анода в установке гальванического покрытия деталей насыпью осуществляется формирование множества возможных вариантов, обладающих разной эффективностью [12]. В настоящее время размерность множества сформированных вариантов не превышает 500, поэтому поиск оптимального варианта осуществляется методом полного их перебора.

**Геометрические параметрические модели погружного барабана
и токопроводящего анода в установке гальванического покрытия
деталей насыпью**

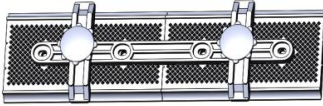
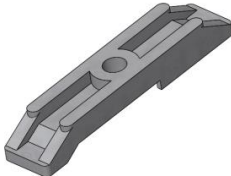
Для подготовки конструкторской документации многофункциональной установки гальванического покрытия деталей насыпью разработаны цифровые модели возможных видов барабанов и токопроводящих анодов в системе Solid-Works. В качестве примера в табл. 2 приведен фрагмент базы моделей основных элементов барабанов и токопроводящих анодов.

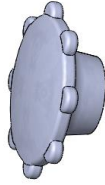
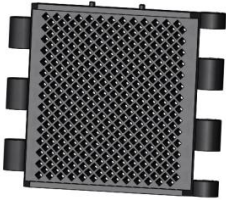
Разработан программный комплекс, реализующий решение задачи (1) – (5), и апробирован в АО «ТАГАТ» им. С. И. Лившица (Тамбов) при конструировании установки для проведения процесса цинкования трех форм деталей: шпильки, втулки и гайки (рис. 5).

Для шпильки с размерами: Ø 1,5 мм, длина 25 мм в гнутом состоянии выбран барабан с прямоугольной перфорацией, диаметром перфорации 1,5 мм и погружными анодами. Для втулок с размерами: Ø 25 мм, длиной 75 мм, – барабан с прямоугольной перфорацией, диаметром перфорации 3,5 мм и погружными анодами. Для цинкового покрытия гаек – барабан с прямоугольной перфорацией, диаметром перфорации 3,0 мм и погружными анодами.

Таблица 2

Фрагмент базы моделей элементов барабанов и токопроводящих анодов

Наименование оборудования	Назначение	Геометрическая 3D-модель	Примечание
1	2	3	4
Барабан	Для загрузки мелких деталей насыпью с дальнейшим покрытием		Перфорация барабана должна соответствовать размерам деталей
Створка барабана	Для открытия и закрытия погрузочного пространства барабана		Перфорация створки должна соответствовать перфорации всего барабана
Замок	Для фиксации створки к основному барабану		Входит в состав створки барабана. Возможны другие вариации конструкции

1	2	3	4
Ручка	Для фиксации замка створки барабана		Входит с состав створки барабана
Панель перфорированная	Для протекания и слива электролита		Является основной составляющей корпуса барабана
Анод	Для передачи технологического тока во время гальванического процесса		В основном представляет собой медную жилу
Фильтра	Для протекания и слива электролита		Устанавливается в барабанах в заготовленные отверстия в стенках барабана



а)



б)



в)

Рис. 5. Оцинкованные детали:
а – шпильки; б – втулки; в – гайки

Заключение

В результате проведенных исследований разработан подход к автоматизированному выбору вида погружного барабана и формы токопроводящего анода в установке гальванического покрытия деталей насыпью, базирующийся на использовании теории построения экспертных систем. Поставлена и решена задача оптимального выбора вида погружного барабана и формы токопроводящего анода. Разработана информационно-логическая модель поддержки принятия решений при их выборе, позволяющая в зависимости от заданных формы и размеров обра-

батываемых деталей в насыпном виде найти оптимальный вариант вида погружного барабана и формы токопроводящего анода в установке. Для подготовки конструкторской документации многофункциональной установки гальванического покрытия деталей насыпью разработаны цифровые модели возможных видов барабанов и токопроводящих анодов в системе SolidWorks. Апробация разработанного программного комплекса, реализующего решение задачи (1) – (5) при проведении процессов: цинкования, кадмирования, никелирования, латунирования, серебрения мелких деталей, показала высокую эффективность предложенного подхода. Правильность выбора вида гальванического барабана обеспечит непрерывную работу производства, связанного с покрытием мелких деталей в насыпном виде. Грамотный выбор перфорации обеспечит наиболее лучший поток циркулирующего электролита для обеспечения более равномерного покрытия изделий в насыпном виде.

Список литературы

1. Соловьев, Д. С. Многоанодная электрохимическая ванна как перспективное оборудование для снижения неравномерности наносимого гальванопокрытия / Д. С. Соловьев, Ю. В. Литовка // Покрытия и обработка поверхности. Последние достижения в технологиях, экологии и оборудования : 9-я Международная конференция (Москва, 28 февраля – 01 марта 2012 г.). – М., 2012. – С. 113 – 115.
2. Васильева, Н. Г. К вопросу автоматизации технологического процесса нанесения гальванопокрытий на примере анодного оксидирования / Н. Г. Васильева, Л. Н. Грачева // Технические науки: традиции и инновации : материалы Междунар. заоч. науч. конф. (Челябинск, 20 – 23 января 2012 г.). – Челябинск, 2012. – С. 58 – 62.
3. Nemtinov, V. Automation of the Early Stages of Plating Lines Design / V. Nemtinov, N. Bolshakov, Yu. Nemtinova // MATEC Web of Conferences : International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2017) (Sevastopol, 11 – 15 September, 2017). – 2017. – Vol. 129. – P. 01012. doi: 10.1051/mateconf/201712901012
4. Nemtinov, V. Analysis of Design Solutions for Galvanizing of Small Parts of Ferrous Metals in Bulk / V. Nemtinov, M. Matrochin, Y. Nemtinova, A. Krylov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 971, No. 2. – P. 022013. doi: 10.1088/1757-899X/971/2/022013
5. Рыбина, Г. В. Применение интеллектуального анализа данных для построения баз знаний интегрированных экспертных систем / Г. В. Рыбина // Авиакосмическое приборостроение. – 2012. – № 11. – С. 36 – 53.
6. Мокрозуб, В. Г. Системный анализ процессов принятия решений при разработке технологического оборудования / В. Г. Мокрозуб, Е. Н. Малыгин, С. В. Карпушкин // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2017. – Т. 23, № 3. – С. 364 – 373. doi: 10.17277/vestnik.2017.03.pp.364-373
7. Мокрозуб, В. Г. Постановка задачи разработки математического и информационного обеспечения процесса проектирования многоассортиментных химических производств / В. Г. Мокрозуб, Е. Н. Малыгин, С. В. Карпушкин // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2017. – Т. 23, № 2. – С. 252 – 264. doi: 10.17277/vestnik.2017.02.pp.252-264
8. Analysis of Decision-Making Options in Complex Technical System Design / V. A. Nemtinov, A. N. Zazulya, V. P. Kapustin, Yu. V. Nemtinov // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1278(1). – P. 012018. doi: 10.1088/1742-6596/1278/1/012018
9. Mokrozub, V. G. An Approach to Smart Information Support of Decision-

Making in the Design of Chemical Equipment / V. G. Mokrozub, V. A. Nemtinov // Chemical and Petroleum Engineering. – 2015. – Vol. 51, No. 7. – P. 487 – 492. doi: 10.1007/s10556-015-0074-4

10. Mokrozub, V. G. Procedural Model for Designing Multiproduct Chemical Plants / V. G. Mokrozub, V. A. Nemtinov, A. V. Mokrozub // Chemical and Petroleum Engineering. – 2017. – Vol. 53, No. 5-6. – P. 326 – 331. doi: 10.1007/s10556-017-0342-6

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

12. Немтинов, В. А. Разработка электронной модели гальванической системы / В. А. Немтинов, А. А. Родина, Ю. В. Немтинова // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2019. – Т. 25, № 4. – С. 567 – 579. doi: 10.17277/vestnik.2019.04.pp.567-579.

Information Support for Decision Making by Choosing the Type of Submerged Drum in the Installation for Galvanic Coating of Parts in Bulk Form

M. A. Matrokhin, V. A. Nemtinov✉, S. Ya. Egorov

*Department of Computer-Integrated Systems in Mechanical Engineering,
nemtinov@mail.tstu.ru; TSTU, Tambov, Russia*

Keywords: anode; galvanic drum; information-logical model; multifunctional installation for galvanic coating of parts in bulk; perforation; making decisions; electrolyte.

Abstract: An approach to automated selection of the type of submersible drum and the shape of a conductive anode in an installation for galvanic coating of parts in bulk, based on the use of the theory of constructing expert systems, is considered. The problem of optimal selection of the type of submersible drum and the shape of the conductive anode is posed and solved. The issues of constructing an information and logical model for supporting decision-making in their selection are considered, which allows, depending on the given shape and size of the processed parts in bulk form, to find the optimal option for the type of submersible drum and the shape of the conductive anode in the installation. To prepare design documentation for a multifunctional installation for galvanic coating of parts in bulk, digital parametric models of possible types of drums and conductive anodes were developed in the SolidWorks system. A software package that implements the solution to the problem has been developed and tested during the galvanizing process of small parts (studs, bushings, nuts).

References

1. Solov'yov D.S., Litovka Yu.V. *Pokrytiya i obrabotka poverkhnosti. Posledniye dostizheniya v tekhnologiyakh, ekologii i oborudovaniya: 9-ya Mezhdunarodnaya konferentsiya* [Coatings and surface treatment. Latest advances in technology, ecology and equipment: 9th International Conference], Moscow, 28 February - 01 March 2012), Moscow, 2012, pp. 113-115. (In Russ.)

2. Vasil'yeva N.G., Gracheva L.N. *Tekhnicheskiye nauki: traditsii i innovatsii: materialy Mezhdunar. zaoch. nauch. konf.* [Technical sciences: traditions and innovations: materials of the International. in absentia scientific conf.], Chelyabinsk, January 20 - 23, 2012, Chelyabinsk, 2012, pp. 58-62. (In Russ.)

3. Nemtinov V., Bolshakov N., Nemtinova Yu. Automation of the Early Stages of Plating Lines Design, *MATEC Web of Conferences: International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2017)*, 11-15 September, 2017, Sevastopol, 2017, vol. 129, pp. 01012. doi: 10.1051/mateconf/201712901012

4. Nemtinov V., Matrochin M., Nemtinova Y., Krylov A. Analysis of design solutions for galvanizing of small parts of ferrous metals in bulk, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, vol. 971, no. 2, pp. 022013. doi: 10.1088/1757-899X/971/2/022013

5. Rybina G.V. [Application of intelligent data analysis for the construction of knowledge bases of integrated expert systems], *Aviakosmicheskoe priborostroenie* [Aerospace instrumentation], 2012, no. 11, pp. 36-53. (In Russ., abstract in Eng.)

6. Mokrozub V.G., Malygin E.N., Karpushkin S.V. [System analysis of decision-making processes in the development of technological equipment], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2017, vol. 23, no. 3, pp. 364-373. doi: 10.17277/vestnik.2017.03.pp.364-373 (In Russ., abstract in Eng.)

7. Mokrozub V.G., Malygin E.N., Karpushkin S.V. [Statement of the problem of developing mathematical and information support for the design process of multi-product chemical production], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2017, vol. 23, no. 2, pp. 252-264. doi: 10.17277/vestnik. 2017.02.pp.252-264 (In Russ., abstract in Eng.)

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

9. Mokrozub V.G., Nemtinov V.A. An Approach to Smart Information Support of Decision-Making in the Design of Chemical Equipment, *Chemical and Petroleum Engineering*, 2015, vol. 51, no. 7, pp. 487-492. doi: 10.1007/s10556-015-0074-4

10. Mokrozub V.G., Nemtinov V.A., Mokrozub A.V. Procedural Model for Designing Multiproduct Chemical Plants, *Chemical and Petroleum Engineering*, 2017, vol. 53, no. 5-6, pp. 326-331. doi: 10.1007/s10556-017-0342-6

11. Mokrozub V.G., Nemtinov V.A., Egorov S.Ya. [Information and logical models of technical objects and their representation in information systems], *Informacionnye tekhnologii v proektirovanii i proizvodstve* [Information technologies in design and production], 2010, no. 3, pp. 68-73. (In Russ., abstract in Eng.)

12. Nemtinov V.A., Rodina A.A., Nemtinova Yu.V. [Development of an electronic model of a galvanic system], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2019, vol. 25, no. 4, pp. 567-579. DOI 10.17277/vestnik.2019.04.pp.567-579. (In Russ., abstract in Eng.)

Informationsunterstützung für die Entscheidungsfindung nach Wahl des Tauchtrommeltyps in der Anlage für galvanische Beschichtung der Details in Form von Schüttgut

Zusammenfassung: Es ist ein Ansatz zur automatisierten Auswahl des Typs der Tauchtrommel und der Form der leitfähigen Anode in einer Schüttgutbeschichtungsanlage betrachtet, der auf der Verwendung der Theorie des

Aufbaus von Expertensystemen basiert. Das Problem der optimalen Auswahl des Tauchtrommeltyps und der Form der leitfähigen Anode ist gestellt und gelöst. Berücksichtigt sind die Fragen der Erstellung eines Informations- und Logikmodells zur Entscheidungsunterstützung bei deren Auswahl, das es ermöglicht, je nach gegebener Form und Größe der verarbeiteten Teile in Massenform die optimale Option für den Typ der Tauchtrommel und die Form der leitfähigen Anode in der Anlage zu finden. Um die Konstruktionsdokumentation für die multifunktionale Anlage zur galvanischen Beschichtung von Massenteilen zu erstellen, sind im SolidWorks-System digitale parametrische Modelle möglicher Trommeltypen und leitfähiger Anoden entwickelt. Es ist ein Softwarepaket entwickelt, das die Lösung des Problems umsetzt, und das während des Verzinkungsprozesses von Kleinteilen (Bolzen, Buchsen, Muttern) getestet worden ist.

Assistance informatique à la prise de la décision sur la sélection du type de tambour submersible dans l'installation de galvanisation de pièces en vrac

Résumé: Est examinée une approche de la sélection automatisée du type de tambour de charge et de la forme de l'anode conductrice dans une installation de galvanisation des pièces en vrac, basée sur l'utilisation de la théorie de la structure des systèmes experts. Est posé et résolu le problème du choix optimal du tambour d'immersion et de la forme de l'anode conductrice. Sont examinées les questions de la construction d'un modèle d'information et logique d'aide à la décision lors de leur sélection, ce qui permet, en fonction de la forme et de la taille spécifiées des pièces usinées en vrac, de trouver la variante optimale du type de tambour submersible et de la forme de l'anode conductrice dans l'installation. Pour la préparation de la documentation de conception de l'installation multifonctionnelle de galvanoplastie des pièces en vrac, sont élaborés des modèles comparatifs numériques des types possibles de tambours et d'anodes conductrices dans le système SolidWorks. Est mis au point un ensemble de programmes pour réaliser la tâche qui est testé dans le processus de galvanisation de petites pièces (goujons, douilles, écrous).

Авторы: *Матрохин Михаил Александрович* – аспирант кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении»; *Немтинов Владимир Алексеевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении»; *Егоров Сергей Яковлевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении»; ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, Россия.