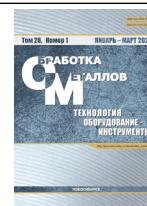




Обработка металлов (технология • оборудование • инструменты)

Сайт журнала: http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov



Пневматическое устройство подъема погружного барабана установки гальванического покрытия мелких деталей в насыпном виде

Михаил Матрохин^a, Владимир Немтинов^{b, *}

Тамбовский государственный технический университет, ул. Советская, 106/5 пом. 2, г. Тамбов, 392000, Россия

^a  <https://orcid.org/0009-0007-2098-5707>,  snakerm@yandex.ru; ^b  <https://orcid.org/0000-0003-2917-3610>,  nemtinov@mail.tstu.ru

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

УДК 621.866-85

История статьи:

Поступила: 27 сентября 2025
 Рецензирование: 26 ноября 2025
 Принята к печати: 14 февраля 2026
 Доступно онлайн: 15 марта 2026

Ключевые слова:

Установка гальванического покрытия мелких деталей в насыпном виде
 Пневматическое устройство подъема
 Погружной барабан
 Рациональные значения параметров
 Ортогональный центральный композиционный план факторного эксперимента

АННОТАЦИЯ

Введение. К проблемам, которые преимущественно появляются при проведении гальванических процессов, относится проблема выбора типа защитных покрытий среди множества вариантов, а также оборудования из многих всевозможных видов, выпускаемых промышленностью, на этапе конструирования гальванических систем, в частности установки гальванического покрытия мелких деталей в насыпном виде. **Цель работы.** Повышение экономической эффективности установки гальванического покрытия мелких деталей в насыпном виде. **Методы исследования.** Конструкторское решение по созданию электронной модели (цифрового двойника) устройства на первом этапе и затем ее физического прототипа базировалось на применении методов системного анализа, математического моделирования и планирования эксперимента. Авторами на основе созданной с использованием графических редакторов электронной модели установки изготовлен ее физический прототип. На этапе конструкторской разработки авторы обосновали параметры пневматического устройства подъема погружного барабана, оптимальное время подъема которого обеспечивается следующими основными параметрами: ход штока поршня – 409...410 мм; требуемое усилие для подъема барабана с деталями – 1,80...1,90 кН; давление в системе компрессора, подаваемое на пневмоцилиндр, – 5,30...5,40 бар. Эти значения определены в результате эксперимента с применением ортогонального центрального композиционного плана факторного эксперимента физического прототипа установки. **Результаты и обсуждение.** Предложенное конструкторское решение отличается от других механизмов поднятия барабана тем, что исключает ручное воздействие на механизм подъема и противовеса. Механизм поднятия вынесен за пределы установки; основные элементы устройства изготовлены отдельными узлами и скрепляются в единую конструкцию пневматического устройства подъема барабана через болтовые соединения. Результаты итоговых испытаний физического прототипа установки гальванического покрытия мелких деталей в насыпном виде с использованием пневматического устройства подъема погружного барабана показали его высокую экономическую эффективность.

Для цитирования: Матрохин М.А., Немтинов В.А. Пневматическое устройство подъема погружного барабана установки гальванического покрытия мелких деталей в насыпном виде // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2026. – Т. 28, № 1. – С. 220–232. – DOI: 10.17212/1994-6309-2026-28.1-220-232.

Введение

Для нанесения защиты от коррозии, декоративного эффекта и других свойств металлических покрытий изготавливаемых изделий из металлов применяются гальванические процессы. К проблемам, которые преимущественно появляются при проведении гальванических процессов, относится проблема выбора типа защитных

покрытий среди множества вариантов, а также оборудования из многих всевозможных видов, выпускаемых промышленностью [1, 2]. От определения, каким видом и каким составом будет покрываться продукция, зависит стоимость выполнения работ и безопасность экологической среды. Электролиты могут различаться по своей цене, токсичности, а также способу хранения и подготовки, поэтому очень важно выбрать оптимальный вариант гальванического покрытия, который, в свою очередь, будет удовлетворять потребностям производства (потребителей) с использованием изделий с запрашиваемым покрытием [3–5]. Вместе с тем «существующие

*Адрес для переписки

Немтинов Владимир Алексеевич, д.т.н., профессор
 Тамбовский государственный технический университет,
 ул. Советская, 106/5, пом. 2,
 392000, г. Тамбов, Россия
 Тел.: 8 (4752) 63-07-06, e-mail: nemtinov@mail.tstu.ru



способы выбора вида и толщины покрытия остаются слабо автоматизированными с большой долей ручного труда и ограниченными функционально-техническими возможностями» [6]. Следовательно, «дальнейший прогресс в этой области связан с оптимизацией и автоматизацией существующих процедур выбора оптимального варианта обработки, модернизацией, совершенствованием технологии, использованием перспективного оборудования» [7, 8].

В этой связи весьма актуальными представляются вопросы, связанные с разработкой методов выбора наилучшего варианта гальванического оборудования из множества возможных. Применение вычислительной техники и развитого программного обеспечения позволяет принять решение за минимальное время с максимальной эффективностью [9, 10].

Анализ научной литературы, описывающей технологии покрытия, а также обзор перспективных установок гальванического покрытия мелких деталей показал, что «основное внимание уделяется вопросам разработки конструкций на основе ранее созданных экспериментальных установок. В меньшей степени уделяется внимание оптимизации проектных решений при подборе отдельных узлов и компонентов для гальванических установок с позиций разных критериев (экономического, надежности, технологичности и т. д.)» [11–14].

В настоящее время широкое распространение получили различные конструкции установок гальванического покрытия мелких деталей в насыпном виде, в которых используются разные конструкции подъемных механизмов, включая механические, электромеханические, гидравлические и пневматические варианты [15, 16]. Каждый тип обладает своими достоинствами и недостатками.

1. Механические подъемники (рычажные, винтовые). Принцип действия: ручное или механическое перемещение тележки с барабаном по направляющим с помощью рычагов, червячных или винтовых передач. Основное применение: в мелкосерийном производстве, опытных установках. Достоинства: простота конструкции, низкая стоимость; надежность, ремонтпригодность; независимость от источников энергии (для ручных вариантов). Недостатки: низкая производительность, зависимость от оператора;

высокая трудоемкость; риск человеческой ошибки и неравномерности процесса; сложность интеграции в автоматизированные линии.

2. Электромеханические подъемники (на основе электродвигателей). Принцип действия: электродвигатель через редуктор приводит в движение цепной, ременный или винтовой механизм подъема; управление – кнопочное или программное. Основное применение: в серийном и крупносерийном производстве. Достоинства: высокая точность позиционирования и скорость; плавность хода, программируемость траектории и времени операций; относительно высокая энергоэффективность; легко интегрируется в автоматические и роботизированные линии; хорошая повторяемость процесса. Недостатки: более высокая стоимость, чем у механических; требуется защита от агрессивной среды (паров, брызг); сложность ремонта электронных компонентов.

3. Гидравлические подъемники. Принцип действия: подъем осуществляется гидроцилиндром, приводимым в действие насосной станцией с рабочей жидкостью (маслом). Основное применение: в крупногабаритных и тяжелонагруженных установках, где требуется плавное перемещение больших масс (крупные барабаны с тяжелыми деталями). Достоинства: большая мощность и грузоподъемность при компактных размерах силового элемента; плавность и высокая точность перемещения даже под большой нагрузкой; возможность жесткой фиксации в любой точке без затрат энергии; устойчивость к перегрузкам. Недостатки: высокая стоимость системы (насос, цилиндр, гидроразводка, охладитель); риск утечек гидравлической жидкости, что недопустимо в чистых производствах; требуется обслуживание гидросистемы (фильтры, температура жидкости); меньшее быстродействие по сравнению с пневматикой; зависимость от температуры окружающей среды.

4. Пневматические подъемники. Принцип действия: использование энергии сжатого воздуха, подаваемого в пневмоцилиндр. Основное применение: в установках со средними и легкими нагрузками, где важна скорость, а не сверхвысокая точность. Достоинства: высокое быстродействие и скорость перемещения; простота конструкции, взрыво- и пожаробезопасность; относительно низкая стоимость компонентов;

чистота – утечка воздуха не загрязняет среду; работоспособность в широком температурном диапазоне. Недостатки: требуется подготовленный сжатый воздух (осушенный, очищенный), что создает зависимость от компрессорной станции; меньшая точность позиционирования из-за сжимаемости воздуха; сложность реализации плавного хода, особенно под переменной нагрузкой.

В табл. 1 приведены сравнительные характеристики устройств подъема различных типов в установках гальванических покрытий изделий из металлов.

Следует отметить, что для гальванического покрытия мелких деталей в насыпном виде чаще всего применяются установки небольшой производительности [15–19], в которых используются механические (ручные) или пневматические подъемники барабана (колокола), наполненного мелкими деталями. В связи с этим в настоящей

работе рассмотрены вопросы разработки эффективного пневматического устройства подъема погружного барабана установки.

Целью работы является повышение экономической эффективности установки гальванического покрытия мелких деталей в насыпном виде. Для достижения поставленной цели в процессе исследования требовалось решить следующие **задачи**:

- разработать оригинальную конструкцию устройства пневматического подъема погружного барабана установки гальванического покрытия мелких деталей в насыпном виде, обеспечивающего низкую стоимость, высокое быстродействие и простоту обслуживания;

- экспериментально определить конструктивные параметры пневматического устройства подъема погружного барабана установки гальванического покрытия.

Таблица 1

Table 1

Сравнительные характеристики устройств подъема различных типов

Comparative characteristics of lifting devices of various types

Критерий	Механический	Электромеханический	Гидравлический	Пневматический
Стоимость	Низкая	Средняя	Высокая	Низкая / средняя
Точность	Низкая	Высокая	Высокая	Средняя / низкая
Плавность хода	Низкая	Высокая	Очень высокая	Средняя
Быстродействие	Низкое	Высокое	Среднее	Очень высокое
Мощность / нагрузка	Низкая	Высокая	Очень высокая	Средняя
Энергоэффективность	–	Хорошая	Средняя	Низкая
Сложность обслуживания	Низкая	Средняя	Высокая	Низкая
Интеграция в АСУ	Невозможна	Легко	Возможна	Возможна

Методика исследований

Задачей предлагаемого конструкторского решения устройства является автоматизация подъема массивного барабана, заполненного изделиями, подлежащими гальваническому покрытию. Конструкция пневматического подъемного механизма погружного барабана основана на результатах исследований ведущих отечественных и иностранных ученых в сфере проектирования гальванических систем [9–13]. Решение о ее реализации принимается поэтапно: на первом этапе разрабатывается электронная модель (цифровой

двойник) устройства, на втором – изготавливается опытный образец и находятся рациональные параметры пневмоподъемника [20–22]. Программные среды систем Mathcad и Microsoft Office Excel были использованы при обработке экспериментальных данных [23, 24].

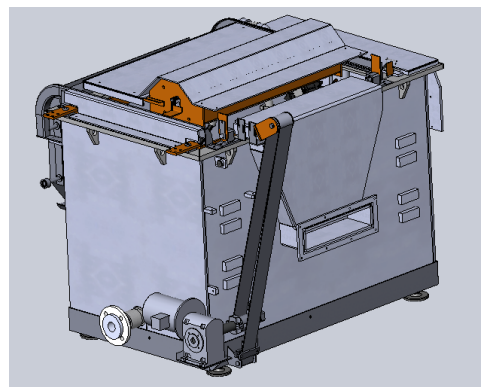
Результаты и их обсуждение

Установка предназначена для гальванического покрытия мелких деталей в насыпном виде (размер деталей от 3 мм). Она представляет собой гальваническую ванну с погружаемым

барабаном, вентиляцией, металлической рамой, а также устройством подъема барабана. В качестве примера на рис. 1 приведены электронные модели установок с ручным (рис. 1, а) и механическим (рис. 1, б) устройством подъема погружного барабана.



а



б

Рис. 1. Устройство подъема погружного барабана:

а – ручное; б – механическое

Fig. 1. Lifting device for a submersible drum:

а – manual; б – mechanical

Пневматическое устройство обеспечивает подъем гальванического барабана из раствора без участия персонала в непосредственной близости от установки, что позволяет избежать попадания брызг химического раствора электролита на верхнюю одежду персонала и незащищенные участки тела, а также исключает человеческий фактор неосторожности при ручном подъеме барабана.

Пневматическое устройство подъема погружного гальванического барабана (рис. 2) состоит из металлической рамы 1, двух механизмов вращения 4 и пневматического устройства. На борту ванны располагаются два механизма вращения 4 для осевого перемещения барабана при подъеме и опускании за счет крепления барабана к раме 1 при помощи хода пневмоцилиндра 2. Механизм вращения 4 представляет собой корпус с жестко закрепленным подшипником, а к внутренней части подшипника прикреплены оси вращения рамы.

Рама 1 состоит из металлоконструкции, представляющей собой две параллельные плиты, которые расположены перпендикулярно полу и соединены между собой металлической конструкцией, закрепленной на подвижных механизмах вращения на борту ванны.

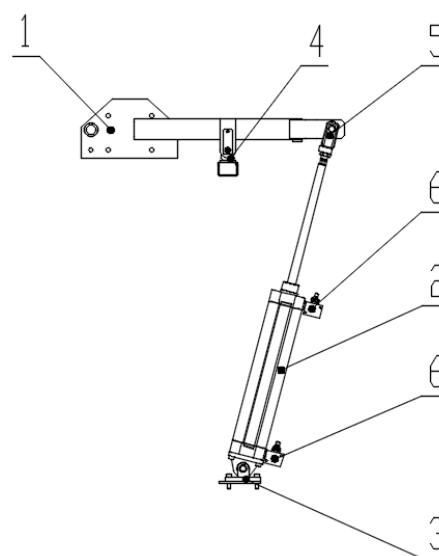


Рис. 2. Устройство подъема погружного барабана: вид сбоку

Fig. 2. Submersible drum lifting device: side view

Авторами предложена конструкция оригинального устройства пневматического подъема погружного барабана установки гальванического покрытия мелких деталей в насыпном виде. Оригинальность конструкции устройства подтверждена патентом РФ на полезную модель [25].

От рамы отходят в сторону борта ванны две направляющие, входящие в нее, одна из которых крепится к механизму вращения 4, а вторая с помощью вилки 5 соединена с пневматическим устройством 2 и также крепится к механизму вращения.

Пневматическое устройство состоит из пневмоцилиндра 2, вилки 5 для крепления пневмоцилиндра к раме подъема, цапфы 3 для крепления основания пневмоцилиндра 2 к кронштейну в нижней части ванны, а также дросселей 6 для подключения воздушной магистрали к пневмоцилиндру 2.

Монтаж подъемного устройства осуществляется следующим образом. На кронштейн, находящийся в нижней наружной части ванны, крепится поворотная цапфа, соединенная с основанием пневмоцилиндра. На верхней части штока пневмоцилиндра устанавливается вилка крепления для связи с рамой. Рама жестко установлена на борту ванны с помощью механизмов вращения. Рама заходит на верхнюю часть ванны и накрывает зеркало раствора, заполняющего гальваническую установку покрытия. К боковым стенкам рамы крепятся при помощи болтового соединения панели, уходящие вглубь ванны и удерживающие в ее нижней части гальванический барабан с изделиями. С помощью дросселей подвода и отвода воздуха к пневмоцилиндру подсоединяются трубки, проводящие воздух от компрессорного оборудования.

При работе установки шток выдвинут из пневмоцилиндра, что обеспечивает нахождение гальванического барабана в ванне с раствором электролита. При подаче воздуха к верхней части пневмоцилиндра шток задвигается и происходит натяжение, что влечет за собой подъем рамы вокруг оси крепления, установленного на борту установки покрытия. В результате гальванический барабан поднимается над зеркалом раствора, это позволяет слить его остатки и выгрузить изделия.

Пневматическое устройство обеспечивает подъем гальванического барабана из раствора без участия персонала в непосредственной близости от установки, что позволяет избежать попадания брызг химического раствора электролита на верхнюю одежду персонала и незащищенные участки тела, а также исключает человеческий фактор неосторожности при ручном подъеме барабана.

Пневматическое устройство подъема отличается от аналогов по следующим параметрам:

- исключает ручное воздействие на механизм подъема;
- позволяет избежать попадания брызг химического раствора электролита на верхнюю одеж-

ду обслуживающего персонала, а также незащищенные участки его тела;

– конструкция противовеса, а также элементы устройства изготовлены отдельными узлами и скрепляются в единую конструкцию пневматического устройства подъема барабана через болтовые соединения.

На рис. 3, а, б представлен вариант с опущенным и поднятым погружным барабаном при помощи пневматического механизма подъема.

Нахождение рациональных параметров пневматического подъемного устройства

Исходя из того, что пневматическое подъемное устройство должно обеспечить подъем барабана с деталями, определим рациональные значения трех основных параметров этого устройства.

На основе практического опыта авторов и результатов экспертных оценок специалистов гальванических производств время подъема барабана было принято равным семи секундам. В случае, когда время подъема менее семи секунд, происходит подхват электролита из-за того, что электролит не успевает стечь. Это влечет за собой следующие последствия:

- обрызгивание персонала;
- пролив электролита за пределы корпуса установки;
- возможное попадание химических веществ на кожную поверхность обслуживающего персонала.

Продолжительность подъема барабана более семи секунд приводит к увеличению длительности цикла покрытия деталей.

Оптимальное время подъема барабана для максимального слива электролита обеспечивается за счет варьирования следующих его параметров: хода штока поршня, требуемого усилия для подъема барабана, а также давления в системе компрессора, подаваемого в пневмоцилиндр. На рис. 4 приведен вид электронной модели подъемного устройства с погружным барабаном.

Рассмотрим технологию проведения экспериментов и обработки их результатов для нахождения «рациональных значений параметров подъемного устройства, которые могут быть определены в результате эксперимента с применением ортогонального центрального компози-

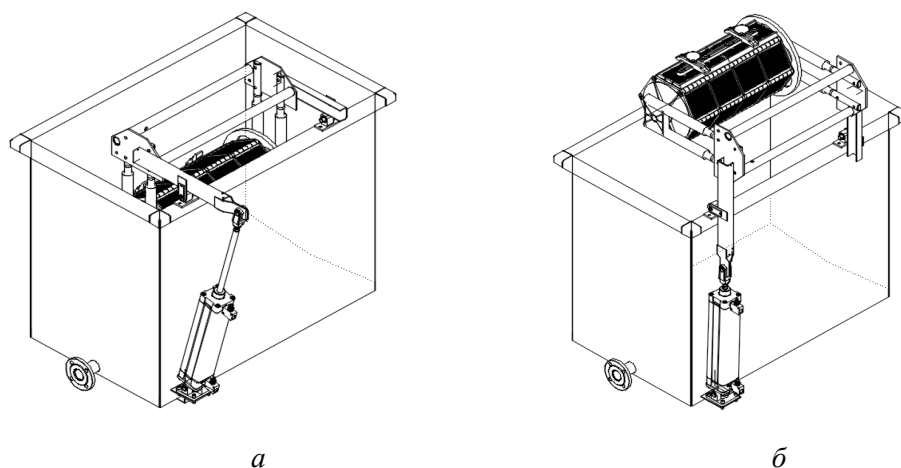


Рис. 3. Модель установки с пневматическим подъемным устройством погружного барабана:

a – опущенного в ванну; *б* – поднятого из ванны

Fig. 3. Model of the installation with a pneumatic lifting device for a submersible drum:

a – lowered into the bath; *б* – lifted out of the bath

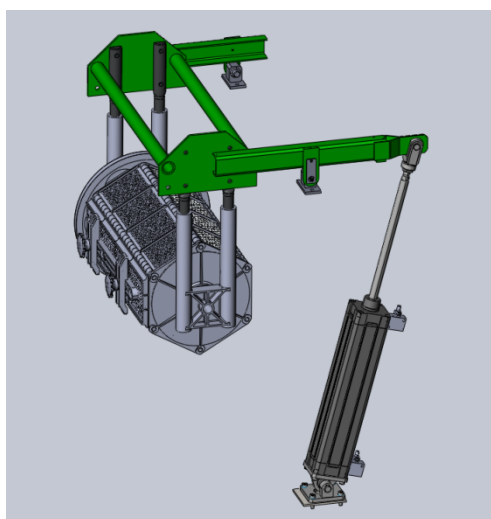


Рис. 4. Электронная модель пневматического подъемного устройства с погружным барабаном

Fig. 4. Electronic model of a pneumatic lifting device with a submersible drum

ционного плана (ОЦКП) факторного эксперимента опытного образца» [22–24] пневматического подъемного устройства. Эксперимент проводился на территории производственного цеха организации ООО «Технология», г. Тамбов Тамбовской области.

Чтобы найти наилучшие настройки факторов (параметров) для экспериментальной установки покрытия мелких деталей в насыпном виде, был разработан усовершенствованный план. Он

основан на стандартном полном факторном эксперименте, но включает дополнительные испытания – в так называемых звездных точках (на удалении от центра) и в центре исследуемой области. Это позволяет построить точную математическую модель (поверхность отклика) и определить точку ее оптимума.

Определение рациональных значений параметров пневматического подъемного устройства было выполнено в диапазонах варьирования факторов: ход штока поршня (p_1) – от 370 до 450 мм; требуемое усилие для подъема барабана с деталями (p_2) – от 0,4 до 2 кН; давление в системе компрессора, подаваемое на пневмоцилиндр (p_3), – от 4 до 12 бар. В качестве отклика использована функция

$$f(p_1, p_2, p_3) = |T_v - T_{eks, i}|,$$

где T_v – принятое время подъема барабана, равное семи секундам; $T_{eks, i}$ – время подъема барабана при проведении i -го опыта, $i = 1, 2, \dots, 15$. Для трех факторов коррекция их квадратов $a = 0,73$, «звездное плечо» $\alpha = 1,215$. По результатам опытов будет сформирован полином уравнения регрессии, а затем определены рациональные значения исследуемых факторов. Количество параллельных опытов для каждого испытания равно трем.

Уравнение регрессии в виде полинома второй степени имеет вид

$$f_2(p_1, p_2, p_3) = k_0 + k_1 p_1 + k_2 p_2 + k_3 p_3 + k_{12} p_1 p_2 + k_{13} p_1 p_3 + k_{23} p_2 p_3 + k_{11} p_1^2 + k_{22} p_2^2 + k_{33} p_3^2,$$

где $k_0, k_1, k_2, k_3, k_{12}, k_{13}, k_{23}, k_{11}, k_{22}, k_{33}$ – коэффициенты полинома, методика их определения приведена в работе [14].

Уровни варьирования выбранных факторов приведены в табл. 2, результаты первой серии опытов – в табл. 3.

Квантиль распределения Стьюдента t_m для пятнадцати опытов и уровня значимости 0,05 равен 2,13, для всех опытов выполняются условия

$t_{1p} < t_m$ и $t_{2p} < t_m$. Следовательно, результаты опытов нельзя признать ошибочными.

Значение критерия Кохрена $G_p = 0,173$. Табличное значение критерия Кохрена G_m при уровне значимости 0,5, объеме выборки 15 и числе степеней свободы 2 равно 0,33, т. е. $G_p < G_m$. Следовательно, опыты воспроизводимы.

Дисперсия воспроизводимости опытов равна 0,017, среднеквадратичное отклонение коэффициентов составляет 0,033. Остаточная дисперсия равна 0,035. Расчетное значение критерия Фишера равно 2,109. Табличное значение критерия Фишера при числах степеней свободы для

Таблица 2

Table 2

Уровни варьирования выбранных факторов
Levels of variation of selected factors

Фактор Factor	$-\alpha$	-1	0	+1	$+\alpha$
p_1	370,0	377,08	410,00	442,92	450,00
p_2	0,40	0,54	1,20	1,86	2,00
p_3	4,00	5,71	8,00	11,29	12,00

Таблица 3

Table 3

Результаты опытов

Experimental results

Уровень фактора p_1 / Factor level p_1	Уровень фактора p_2 / Factor level p_2	Уровень фактора p_3 / Factor level p_3	$ T_v - T_{eks, i} $
-1	-1	-1	0,4
1	-1	-1	0,3
-1	1	-1	0,4
1	1	-1	-0,4
-1	-1	1	0,7
1	-1	1	0,6
-1	1	1	1,1
1	1	1	-0,6
$-\alpha$	0	0	0,4
α	0	0	0,3
0	$-\alpha$	0	0,5
0	α	0	0,4
0	0	$-\alpha$	0,2
0	0	α	0,3
0	0	0	0,2

уровня значимости 0,05 составляет 2,16. Следовательно, полином регрессии адекватен объекту исследования.

Итоговый вид уравнения регрессии по результатам всех опытов при проведении ОЦКП:

$$f_2(p_1, p_2, p_3) = 0,254 - 0,25p_1 - 0,141p_2 + 0,17p_3 - 0,279p_1p_2 - 0,17p_1p_3 + 0,45p_2p_3 + 0,33p_1^2 + 0,030p_2^2 + 0,031p_3^2.$$

Время подъема барабана обеспечивается пневматическим подъемным устройством со следующими параметрами: ход штока поршня – 409...410 мм; требуемое усилие для подъема барабана с деталями – 1,80...1,90 кН; давление в системе компрессора, подаваемое на пневмоцилиндр, – 5,30...5,40 бар.

В итоге предложена конструкция установки, включающая в себя устройство пневматического подъема погружного барабана. Ее трехмерная модель приведена на рис. 5. Физический прототип установки был изготовлен в производственном цехе организации ООО «Технология» (г. Тамбов, РФ), опытная эксплуатация показала его высокую эффективность при обеспечении заявленных выше достоинств.

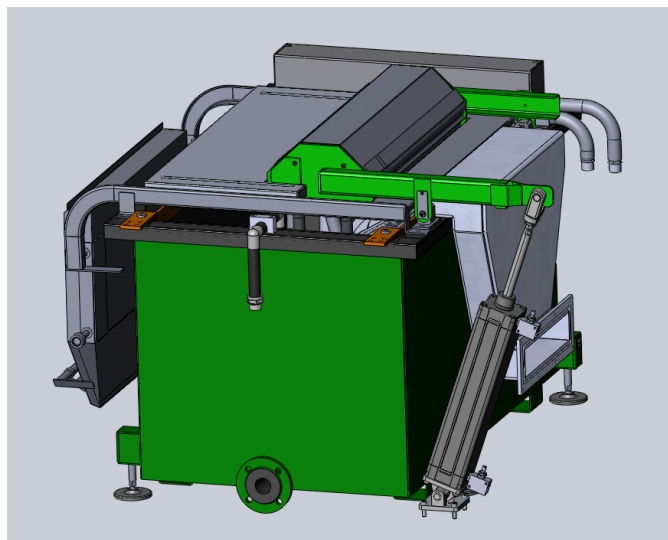


Рис. 5. Модель установки, включающая в себя устройство пневматического подъема погружного барабана

Fig. 5. Model of the installation with a pneumatic lifting device for a submersible drum

Выводы

В результате проведенных исследований выполнено следующее.

1. Установлена принципиальная конструктивная схема устройства, основанная на пневматическом приводе, для подъема погружного барабана в гальванической установке для покрытия мелких деталей в насыпном виде. Данная схема является оригинальной и обеспечивает новый способ решения технологической задачи.

2. Определены и получены эмпирические зависимости, которые устанавливают количественную взаимосвязь между ключевыми параметрами работы пневматической системы и конструктивными характеристиками подъемного механизма.

Ключевым свойством разработанного пневматического устройства является обеспечение дистанционного автоматизированного подъема барабана из гальванической ванны, что исключает необходимость нахождения персонала в непосредственной близости от установки в момент выполнения данной операции. Это свойство обуславливает следующие установленные преимущества и следствия:

- устранение основного фактора профессионального риска – попадания брызг химического электролита на спецодежду и открытые участки кожи персонала;

- создание предпосылок для стабилизации технологического процесса за счет стандартизации и управляемости операции подъема, не зависящей от физических усилий оператора.

Оригинальность конструкции устройства подтверждена патентом РФ на полезную модель [25].

По результатам испытаний в производственном цехе организации ООО «Технология» (г. Тамбов, РФ) физического прототипа установки был подтвержден его экономический эффект. Анализ показывает, что предлагаемое решение обладает более низкой себестоимостью эксплуатации в сравнении с традиционными установками для гальваники насыпных деталей, в которых используется ручной или механизированный (приводной) подъем барабана.

Важным эксплуатационным преимуществом установки является возможность ее интеграции в действующие технологические линии. Обследование производств показало, что компрессорное

оборудование, необходимое для работы пневмоподъемника, как правило, уже присутствует в составе основной инфраструктуры цехов. Это означает, что для модернизации существующих гальванических ванн под мелкие детали требуются минимальные адаптационные доработки, что существенно снижает капитальные затраты и сроки внедрения.

Прямое сравнение капитальных затрат на оснащение одной ванны демонстрирует значительную экономию. Стоимость комплекта пневматического устройства для ванны объемом 0,5...0,8 м³ без учета компрессора составляет около 60 тысяч рублей. Стоимость комплекта с традиционным электромеханическим приводом для той же ванны, включая токарные работы, оценивается примерно в 80 тысяч рублей.

Совокупный экономический результат от использования пневматического решения формируется как за счет снижения первоначальных вложений, так и за счет эксплуатационной эффективности. Расчеты указывают, что суммарные приведенные затраты при внедрении данной установки оказываются на 10–15 % ниже, чем у аналогов с приводными способами подъема барабана. Таким образом, предложенная авторами модернизация обеспечивает прямую экономическую выгоду, которая многократно проявляется в течение всего жизненного цикла оборудования.

Список литературы

1. 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. – DOI: 10.31044/1684-2499-2020-07-2-6. – EDN KBVUJD.
2. Improving the uniformity of the coating thickness distribution during electroplating treatment of products using multi anode baths / D.S. Solovjev, I.A. Solovjeva, V.V. Konkina, Y.V. Litovka // *Materials Today: Proceedings*. – 2019. – Vol. 19 (5). – P. 1895–1898. – DOI: 10.1016/J.MATPR.2019.07.036.
3. Дли М.И., Стоянова О.В. Способы представления экспертных данных в системах поддержки принятия решений по управлению сложными проектами // *Нейрокомпьютеры: разработка, применение*. – 2016. – № 7. – С. 21–28. – EDN WINYQB.
4. Wen Z., Liao H., Zavadskas E.K. MACONT: Mixed aggregation by comprehensive normalization technique for multi-criteria analysis // *Informatica*. – 2020. –

Vol. 31 (4). – P. 857–880. – DOI: 10.15388/20-IN-FOR417.

5. Sharma D., Chaudhari P.K., Prajapati A.K. Removal of chromium (VI) and lead from electroplating effluent using electrocoagulation // *Separation Science and Technology*. – 2020. – Vol. 55 (2). – P. 321–331. – DOI: 10.1080/01496395.2018.1563157.

6. 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 // *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*. – 2019. – Vol. 41 (12). – P. 574. – DOI: 10.1007/s40430-019-2081-4.

7. Nanoporous CaCO₃ coatings enabled uniform Zn stripping/plating for long-life zinc rechargeable aqueous batteries / L. Kang, M. Cui, F. Jiang, Y. Gao, H. Luo, J. Liu, W. Liang, C. Zhi // *Advanced Energy Materials*. – 2018. – Vol. 8 (25). – P. 1801090. – DOI: 10.1002/aenm.201801090.

8. Nemtinov V.A., Bolshakov N.A., Nemtinova Yu.V. Automation of the early stages of plating lines design // *MATEC Web of Conferences*. – 2017. – Vol. 129. – P. 01012. – DOI: 10.1051/mateconf/201712901012.

9. Borisenko A.B., Karpushkin S.V. Hierarchy of processing equipment configuration design problems for multiproduct chemical plants // *Journal of Computer and Systems Sciences International*. – 2014. – Vol. 53 (3). – P. 410–419. – DOI: 10.1134/S1064230714030046.

10. 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. – EDN DZLXLZ.

11. Караваев В.И., Коробова И.Л., Литовка Ю.В. Расчет наиболее равномерного гальванического покрытия с учетом изменения концентрации компонентов электролита // *Журнал прикладной химии*. – 2006. – Т. 79, № 11. – С. 1840–1843. – EDN HVTFIT.

12. Moradian M., Modanloo V., Aghaie S. Comparative analysis of multi criteria decision making techniques for material selection of brake booster valve body // *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*. – 2018. – Vol. 6 (5). – P. 526–534. – DOI: 10.1016/j.jtte.2018.02.001.

13. Повышение производительности процесса химического никелирования / В.Д. Скопинцев, А.В. Моргунов, Е.Г. Винокуров, Х.А. Невмятулина // *Гальванотехника и обработка поверхности*. – 2016. – № 3. – С. 26–31. – DOI: 10.47188/0869-5326_2016_24_3_26. – EDN WHUAZF.

14. Selecting a single result from an aggregate of contradictory alternatives with use of multiset theory / Yu.V. Litovka, V.A. Nesterov, D.S. Solovyov,



I.A. Solovyova, K.I. Sypalo. // Journal of Computer and Systems Sciences International. – 2020. – Vol. 58. – P. 915–921. – DOI: 10.1134/S1064230719060121.

15. Патент № 2815692 С1 Российская Федерация, МПК C25D 17/18. Колокольная ванна для нанесения гальванических покрытий на детали: № 2023118587: заявл. 13.07.2023: опубл. 20.03.2024 / М.В. Терехов, Н.М. Нечепуренко.

16. А. с. № 1305201 СССР, МПК C25D 17/20. Устройство для нанесения гальванических покрытий на мелкие детали: № 4010076: заявл. 10.12.1985: опубл. 23.04.1987 / Б.В. Антонов, Н.А. Беззубиков, А.С. Буданцев, Ю.А. Окулов.

17. 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. – DOI: 10.17277/vestnik.2024.04.pp.538-546. – EDN CKKVYP.

18. 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 (ICIE 2020). Vol. 2. – Cham: Springer, 2021. – P. 85–93. – DOI: 10.1007/978-3-030-54817-9_10.

19. Solovjeva I.A., Solovjev D.S., Litovka Y.V. Solving the inverse problem of recovering the 3D surface of a detail according to its 2D projections in the modelling of electroplating processes // Materials Science Forum. – 2021. – Vol. 1037. – P. 581–588. – DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.1037.581.

20. Analysis of decision-making options in complex technical system design / V. Nemtinov, A. Zazulya, V. Kapustin, Y. Nemtinova // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – Vol. 1278. – P. 012018. – DOI: 10.1088/1742-6596/1278/1/012018.

21. Intelligent decision support system for selection of internal devices for installation of electroplating / M.A. Matrokhin, V.A. Nemtinov, Y.V. Protasova, P.K. Praveen, V.V. Morozov // Lecture Notes in Electrical Engineering. – 2025. – Vol. 1246. – P. 399–410. – DOI: 10.1007/978-981-97-6710-6_31.

22. Analysis of design solutions for galvanizing of small parts of ferrous metals in bulk / V. Nemtinov, M. Matrokhin, Y. Nemtinova, A. Krylov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 971 (2). – P. 022013. – DOI: 10.1088/1757-899X/971/2/022013.

23. Leung R.W.K., Lau H.C.W., Kwong C.K. An intelligent system to monitor the chemical concentration of electroplating process: An integrated OLAP and fuzzy logic approach // Artificial Intelligence Review. – 2004. – Vol. 21 (2). – P. 139–159.

24. Rao R.V., Patel B.K. A subjective and objective integrated multiple attribute decision making method for material selection // Materials & Design. – 2010. – Vol. 31 (10). – P. 4738–4747. – DOI: 10.1016/j.matdes.2010.05.014.

25. Патент № 238759 U1 Российская Федерация, МПК C25D 17/00 (2006.01). Пневматическое устройство подъема погружного гальванического барабана, входящее в состав установки покрытия мелких деталей в насыпном виде: № 2025119617: заявл. 16.07.2025: опубл. 11.11.2025, Бюл. № 32 / М.А. Матрохин, В.А. Немтинов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2026 Авторы. Издательство Новосибирского государственного технического университета. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



Obrabotka metallov - Metal Working and Material Science

Journal homepage: http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov



Pneumatic device for lifting a submersible drum for electroplating small parts in bulk

Mikhail Matrokhin ^a, Vladimir Nemtinov ^{b, *}

Tambov State Technical University, Sovetskaya str., 106/5 room 2, Tambov, 392000, Russian Federation

^a <https://orcid.org/0009-0007-2098-5707>, snakerm@yandex.ru; ^b <https://orcid.org/0000-0003-2917-3610>, nemtinov@mail.tstu.ru

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 27 September 2025

Revised: 26 November 2025

Accepted: 14 February 2026

Available online: 15 March 2026

Keywords:

Installation of electroplating of small parts in bulk

Pneumatic lifting device

Immersion drum

Rational values of the parameters

Orthogonal central compositional plan of the factor experiment

ABSTRACT

Introduction. The main problems that arise during electroplating processes include, at the design stage of electroplating systems, the challenge of selecting the appropriate type of protective coating from a variety of options, as well as choosing the appropriate equipment from the many different types produced by industry – in particular, installations for the electroplating of small parts in bulk. **The purpose of the work** is to increase the economic efficiency of installations for the electroplating of small parts in bulk. **Methodology.** The **decision** to create an electronic model (digital twin) of the device at the first stage and then its physical prototype was based on the use of system **analysis methods**, mathematical modeling, and experimental design. A physical prototype was built based on the created electronic model of the installation using graphic editors. At the design stage, the parameters of a pneumatic lifting device for a submersible drum were determined; the optimal lifting time is ensured by the following key parameters: piston rod stroke: 409–410 mm; required force for lifting the drum with parts: 1.80–1.90 kN; and pressure in the compressor system supplied to the pneumatic cylinder: 5.30–5.40 bar. These values were obtained from an experiment using an orthogonal central composite design for a factorial experiment on a physical prototype of the installation. **Results and discussion.** The proposed design solution differs from other drum lifting mechanisms in that it eliminates manual operation of the lifting mechanism and counterweight. The lifting mechanism is located outside the installation; the main components of the device are manufactured as separate units and assembled into a single structure using bolted connections. The results of the final tests of the physical prototype of the electroplating installation for small parts in bulk using a pneumatic device for lifting a submersible drum demonstrated its high economic efficiency.

For citation: Matrokhin M.A., Nemtinov V.A. Pneumatic device for lifting a submersible drum for electroplating small parts in bulk. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty)* = *Metal Working and Material Science*, 2026, vol. 28, no. 1, pp. 220–232. DOI: 10.17212/1994-6309-2026-28.1-220-232. (In Russian).

References

1. Vinokurov E.G., Burukhina T.F., Guseva T.V. Gal'vanicheskoe proizvodstvo v Rossii: otsenochnyi podkhod, zadachi povysheniya resursnoi i ekologicheskoi effektivnosti [Electroplating industry in Russia: assessment approach, improvement tasks of resource and environmental effectiveness]. *Tekhnologiya metallov* = *Technology of Metals*, 2020, no. 7, pp. 2–6. DOI: 10.31044/1684-2499-2020-0-7-2-6.
2. Solovjev D.S., Solovjeva I.A., Konkina V.V., Litovka Y.V. Improving the uniformity of the coating thickness distribution during electroplating treatment of products using multi anode baths. *Materials Today: Proceedings*, 2019, vol. 19 (5), pp. 1895–1898. DOI: 10.1016/J.MATPR.2019.07.036.
3. Dli M.I., Stoyanova O.V. Sposoby predstavleniya ekspertnykh dannykh v sistemakh podderzhki prinyatiya reshenii po upravleniyu slozhnymi proektami [The techniques of expert data representation in the systems of decision making support for complex project management]. *Neirokomp'yutery: razrabotka, primeneniye* = *Neurocomputers*, 2016, no. 7, pp. 21–28.

* Corresponding author

Nemtinov Vladimir A., D.Sc. (Engineering), Professor

Tambov State Technical University,

106/5 room 2, Sovetskaya str.,

392000, Tambov, Russian Federation

Tel.: +7 4752 63-07-06, e-mail: nemtinov@mail.tstu.ru



4. Wen Z., Liao H., Zavadskas E.K. MACONT: Mixed aggregation by comprehensive normalization technique for multi-criteria analysis. *Informatica*, 2020, vol. 31 (4), pp. 857–880. DOI: 10.15388/20-INFOR417.
5. Sharma D., Chaudhari P.K., Prajapati A.K. Removal of chromium (VI) and lead from electroplating effluent using electrocoagulation. *Separation Science and Technology*, 2020, vol. 55 (2), pp. 321–331. DOI: 10.1080/01496395.2018.1563157.
6. 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. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 2019, vol. 41 (12), p. 574. DOI: 10.1007/s40430-019-2081-4.
7. Kang L., Cui M., Jiang F., Gao Y., Luo H., Liu J., Liang W., Zhi C. Nanoporous CaCO_3 coatings enabled uniform Zn stripping/plating for long-life zinc rechargeable aqueous batteries. *Advanced Energy Materials*, 2018, vol. 8 (25), p. 1801090. DOI: 10.1002/aenm.201801090.
8. Nemtinov V.A., Bolshakov N.A., Nemtinova Yu.V. Automation of the early stages of plating lines design. *MATEC Web of Conferences*, 2017, vol. 129, p. 01012. DOI: 10.1051/mateconf/201712901012.
9. Borisenko A.B., Karpushkin S.V. Hierarchy of processing equipment configuration design problems for multiproduct chemical plants. *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 2014, vol. 53 (3), pp. 410–419. DOI: 10.1134/S1064230714030046.
10. Nemtinov V.A., Rodina A.A., Nemtinova Yu.V. Razrabotka elektronnoi modeli gal'vanicheskoi sistemy [Development of electronic model for electroplating system]. *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Transactions of the Tambov State Technical University*, 2019, vol. 25 (4), pp. 567–579. DOI: 10.17277/vestnik.2019.04.pp.567-579.
11. Karavaev V.I., Korobova I.L., Litovka Yu.V. Raschet naibolee ravnornomernogo gal'vanicheskogo pokrytiya s uchetom izmeneniya kontsentratsii komponentov elektrolita [Calculation of the most uniform electroplating taking into account changes in the concentration of electrolyte components]. *Zhurnal prikladnoi khimii = Russian Journal of Applied Chemistry*, 2006, no. 11, pp. 1840–1843. (In Russian).
12. Moradian M., Modanloo V., Aghaie S. Comparative analysis of multi criteria decision making techniques for material selection of brake booster valve body. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 2018, vol. 6 (5), pp. 526–534. DOI: 10.1016/j.jtte.2018.02.001.
13. Skopintsev V.D., Morgunov A.V., Vinokurov E.G., Nevmyatullina H.A. Povyshenie proizvoditel'nosti protsessa khimicheskogo nikelirovaniya [How to increase the productivity of electroless nickel plating process]. *Gal'vanotekhnika i obrabotka poverkhnosti = Electroplating & Surface Treatment*, 2016, vol. 24, no. 3, pp. 26–31. DOI: 10.47188/0869-5326_2016_24_3_26.
14. Litovka Yu.V., Nesterov V.A., Solovyov D.S., Solovyova I.A., Sypalo K.I. Selecting a single result from an aggregate of contradictory alternatives with use of multiset theory. *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 2020, vol. 58, pp. 915–921. DOI: 10.1134/S1064230719060121.
15. Terekhov M.V., Nechepurenko N.M. *Kolokol'naya vanna dlya naneseniya gal'vanicheskikh pokrytii na detali* [Bell bath for electroplating parts]. Patent RF, no. 2815692, 2024.
16. Antonov B.V., Bezzubikov N.A., Budantsev A.S., Okulov Yu.A. *Ustroistvo dlya naneseniya gal'vanicheskikh pokrytii na melkie detali* [A device for electroplating small parts]. Inventor's Certificate USSR, no. 1305201, 1987.
17. Solovjev D.S. Metodologiya podderzhki prinyatiya reshenii pri intellektual'nom upravlenii tekhnologicheskimi sistemami proizvodstva gal'vanicheskikh pokrytii [Methodology of decision-making support in intelligent control of industrial systems for galvanic coatings production]. *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Transactions of the Tambov State Technical University*, 2024, vol. 30, no. 4, pp. 538–546. DOI: 10.17277/vestnik.2024.04.pp.538-546.
18. 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 (ICIE 2020)*. Vol. 2. Cham, Springer, 2021, pp. 85–93. DOI: 10.1007/978-3-030-54817-9_10.
19. Solovjeva I.A., Litovka Y.V., Solovjev D.S. Solving the inverse problem of recovering the 3D surface of a detail according to its 2D projections in the modelling of electroplating processes. *Materials Science Forum*, 2021, vol. 1037, pp. 581–588. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.1037.581.
20. Nemtinov V., Zazulya A., Kapustin V., Nemtinova Y. Analysis of decision-making options in complex technical system design. *Journal of Physics: Conference Series*, 2018, vol. 1278, p. 012018. DOI: 10.1088/1742-6596/1278/1/012018.

21. Matrokhin M.A., Nemtinov V.A., Protasova Y.V., Praveen P.K., Morozov V.V. Intelligent decision support system for selection of internal devices for installation of electroplating. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2025, vol. 1246, pp. 399–410. DOI: 10.1007/978-981-97-6710-6_31.
22. Nemtinov V., Matrokhin 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 (2), p. 022013. DOI: 10.1088/1757-899X/971/2/022013.
23. Leung R.W.K., Lau H.C.W., Kwong C.K. An intelligent system to monitor the chemical concentration of electroplating process: An integrated OLAP and fuzzy logic approach. *Artificial Intelligence Review*, 2004, vol. 21 (2), pp. 139–159.
24. Rao R.V., Patel B.K. A subjective and objective integrated multiple attribute decision making method for material selection. *Materials & Design*, 2010, vol. 31 (10), pp. 4738–4747. DOI: 10.1016/j.matdes.2010.05.014.
25. Matrokhin M.A., Nemtinov V.A. *Pnevmaticheskoe ustroystvo pod''ema pogruzhnogo gal'vanicheskogo barabana, vkhodyashchee v sostav ustanovki pokrytiya melkikh detalei v nasypnom vide* [A pneumatic device for lifting an immersion galvanic drum, which is part of the installation for coating small parts in bulk]. Patent RF, no. 238759 U1, 2025.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2026 The Authors. Published by Novosibirsk State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).