

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

**Т. П. Колина**

## **ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ**

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины для студентов,  
обучающихся в магистратуре по направлению подготовки  
15.04.01 Машиностроение

Калининград  
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»  
2023

УДК 642.5

Рецензент

кандидат технических наук, доцент кафедры инжиниринга технологического оборудования ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» М. В. Хомякова

Колина, Т. П.

Гальванические покрытия: учеб.-метод. пособие по изучению дисциплины для студ. магистратуры по напр. подгот. 15.04.01 Машиностроение / Т. П. Колина. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023. – 50 с.

В учебно-методическом пособии по изучению дисциплины «Гальванические покрытия» представлены учебно-методические материалы по освоению тем лекционного курса, включающие подробный план лекции по каждой изучаемой теме, вопросы для самоконтроля, материалы по подготовке к практическим занятиям.

Табл. 5, список лит. – 16 наименований

Учебное пособие рассмотрено и рекомендовано к опубликованию кафедрой инжиниринга технологического оборудования 21 апреля 2022 г., протокол № 3

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины рекомендовано к изданию в качестве локального электронного методического материала методической комиссией института агроинженерии и пищевых систем ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» 30 апреля 2023 г., протокол № 4

УДК 642.5

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Калининградский государственный технический университет», 2023 г.  
© Колина Т. П., 2023 г.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....	7
2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ.....	12
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ.....	44
ТИПОВЫЕ ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ».....	47
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	49

## ВВЕДЕНИЕ

«Гальванические покрытия» – дисциплина образовательной программы магистратуры по направлению подготовки 15.04.01 «Машиностроение».

Современный научно-технический прогресс неразрывно связан с разработкой и освоением гальванических покрытий. Дисциплина «Гальванические покрытия» относится к общепрофессиональным дисциплинам. Применение большого количества разнообразных материалов, используемых в различных отраслях промышленности, предполагает знание их обозначений в соответствии с ГОСТ. Основной задачей является освоение практических навыков в нанесении гальванических покрытий на различные материалы, умение правильно выбрать и рассчитать химический состав для нанесения гальванического покрытия с учетом определенных условий эксплуатации.

Целью освоения дисциплины «Гальванические покрытия» является формирование знаний, умений и навыков по технологиям цинкования, оловянирования и покрытия сплавами олова, меднения, никелирования, хромирования, серебрения, износостойкого золочения, палладирования и родирования.

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны:

знать:

- теоретические основы специальной гальванотехники;
- влияние составов электролитов покомпонентно на скорость процесса и кристаллизацию;

- классификацию гальванических покрытий;

- обозначения гальванических покрытий;

- специальную технологию процесса цинкования, оловянирования и покрытия сплавами олова, меднения, никелирования, хромирования, серебрения, износостойкого золочения, палладирования и родирования;

уметь:

- рассчитывать режим выбранного процесса нанесения гальванопокрытия;

- выбирать покрытие в зависимости от условий работы изделия;

- определять толщину покрытий для легких, средних, жестких и особо жестких условий работы;

- определять структуры гальванических покрытий с их свойствами;

владеть:

- способами подготовки поверхности перед покрытием;

- методиками составления технологических схем подготовки поверхности для разных основ;

- методами расчета режима гальванического процесса на скорость процесса и кристаллическую структуру покрытия.

Знания, умения и навыки, полученные при освоении данной дисциплины, используются в дальнейшей профессиональной деятельности.

При реализации дисциплины «Гальванические покрытия» организуется практическая подготовка путем проведения практических работ, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Для успешного освоения дисциплины «Гальванические покрытия», студент должен активно работать на лекционных и практических занятиях, организовывать самостоятельную внеаудиторную деятельность.

Для оценивания поэтапного формирования результатов освоения дисциплины (текущий контроль) предусмотрены практические задания. Решение практических задач, обучающимися проводится на практических занятиях после изучения соответствующих тем.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме зачета с оценкой, который выставляется по результатам прохождения всех видов текущего контроля успеваемости. При необходимости тестовые задания закрытого и открытого типов могут быть использованы для проведения промежуточной аттестации (представлены в фонде оценочных средств по дисциплине «Гальванические покрытия»).

Для оценки результатов освоения дисциплины используются:

- оценочные средства поэтапного формирования результатов освоения;
- оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине.

К оценочным средствам поэтапного формирования результатов освоения дисциплины относятся:

- задания и контрольные вопросы к практическим работам.

Универсальная система оценивания результатов обучения включает в себя системы оценок: 1) «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»; 2) «зачтено», «не зачтено»; 3) 100-балльную (процентную) систему и правило перевода оценок в пятибалльную систему (таблица 1).

Таблица 1 – Система оценок и критерии выставления оценки

Система оценок	2	3	4	5
	0–40 %	41–60 %	61–80 %	81–100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
Критерий	«не зачтено»	«зачтено»		
<b>1. Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов</b>	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно-корректно связывать между собой (только некоторые из которых может связывать между собой)	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полной полнотой знаний и системным взглядом на изучаемый объект
<b>2. Работа с информацией</b>	Не в состоянии находить необходимую информацию	Может найти необходимую информацию в	Может найти, интерпретировать и система-	Может найти, систематизировать необходимую информацию, а

Система оценок Критерий	2	3	4	5
	0–40 %	41–60 %	61–80 %	81–100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
	цию, либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи	рамках поставленной задачи	тизировать необходимую информацию в рамках поставленной задачи	также выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
<b>3. Научное осмысление изучаемого явления, процесса, объекта</b>	Не может делать научно корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	В состоянии осуществлять научно корректный анализ предоставленной информации	В состоянии осуществлять систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные данные	В состоянии осуществлять систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задаче данные, предлагает новые курсы поставленной задачи
<b>4. Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач</b>	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

При необходимости для обучающихся-инвалидов или обучающихся с ОВЗ предоставляется дополнительное время для подготовки ответа с учетом их индивидуальных психофизических особенностей.

Для успешного освоения дисциплины «Гальванические покрытия» в учебно-методическом пособии по изучению дисциплины приводится краткое содержание каждой темы занятия, перечень вопросов для подготовки к практическим занятиям и организации самостоятельной работы студентов.

## **1 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Осваивая курс «Гальванические покрытия», студент должен научиться работать на лекциях, практических занятиях и организовывать самостоятельную внеаудиторную деятельность. В начале лекции необходимо уяснить цель, которую лектор ставит перед собой и студентами. Важно внимательно слушать, отмечать наиболее существенную информацию и кратко ее конспектировать; сравнивать то, что услышано на лекции с прочитанным и усвоенным ранее материалом в области применения различных материалов при производстве технологического оборудования пищевых производств, укладывать новую информацию в собственную, уже имеющуюся, систему знаний. По ходу лекции необходимо подчеркивать новые термины, определения, устанавливать их взаимосвязь с изученными ранее понятиями.

Основными видами учебной деятельности в ходе изучения курса являются лекции и практические занятия.

При разработке образовательной технологии организации учебного процесса основной упор сделан на соединение активной и интерактивной форм обучения. Интерактивная форма позволяет студентам проявить самостоятельность в освоении теоретического материала и овладении практическими навыками, формирует интерес и позитивную мотивацию к учебе.

При чтении лекций преподаватель имеет право самостоятельно выбирать формы и методы изложения материала, которые будут способствовать качественному его усвоению. При этом преподаватель в установленном порядке может использовать технические средства обучения, имеющиеся на кафедре и в университете.

Вместе с тем всякий лекционный курс является в определенной мере авторским, представляет собой творческую переработку материала и неизбежно отражает личную точку зрения лектора на предмет и методы его преподавания. В этой связи представляется целесообразным привести некоторые общие методические рекомендации по построению лекционного курса и формам его преподавания.

Лекции составляют основу теоретической подготовки и посвящены наиболее важным моментам при изучении курса «Гальванические покрытия». При проведении лекций необходимо использовать технические средства обучения, ЭИОС, применять методы, способствующие активизации познавательной деятельности слушателей. На лекциях целесообразно теоретический материал иллюстрировать рассмотрением различных примеров и конкретных задач. Имеет смысл привлекать студентов к обсуждению как рассматриваемого вопроса в целом, так и отдельных моментов рассуждений и доказательств. Необходимо также использовать возможности проблемного изложения, дискуссии с целью активизации деятельности студентов.

Практические занятия проводятся для закрепления основных теоретических положений курса и реализации их в практических расчетах, формирования и развития у студентов мышления в рамках будущей профессии.

На практических занятиях следует добиваться точного и адекватного владения теоретическим материалом и его применения для решения задач.

Важным звеном во всей системе обучения является самостоятельная работа обучающихся. В широком смысле под ней следует понимать совокупность всей самостоятельной деятельности магистров как в отсутствие преподавателя, так и в контакте с ним. Она является одним из основных методов поиска и приобретения новых знаний, работы с литературой, а также выполнения предложенных заданий. Преподаватель призван оказывать в этом методическую помощь магистрам и осуществлять руководство их самостоятельной работой.

Необходимо контролировать степень усвоения студентами текущего материала, а также уровень остаточных знаний по уже изученным темам.

При изучении курса предусмотрены следующие формы текущего контроля:

- опросы по теоретическому материалу;
- контроль на практических занятиях;

С целью формирования мотивации и повышения интереса к предмету особое внимание при чтении курса необходимо обратить на темы, которые можно проиллюстрировать примерами из практической сферы, связывая теоретические положения с будущей профессиональной деятельностью студентов. Тематический план лекционных занятий представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Объем (трудоемкость освоения) и структура лекционных занятий

Номер темы	Содержание лекционного занятия
1	Технологии гальванических производств
2	Основные методы и общие условия нанесения покрытий
3	Цинкование, хромирование
4	Никелирование. Латунирование. Меднение. Родирование. Покрытие оловом. Серебрение и золочение.
5	Очистка и обезвреживание сточных вод гальванического производства

Если лектор приглашает студентов к дискуссии, то необходимо принять в ней активное участие. Если на лекции студент не получил ответа на возникшие у него вопросы, он может в конце лекции задать эти вопросы лектору курса дисциплины.

## Тема 1. Технологии гальванических производств

### *Ключевые вопросы темы*

1. Подготовка деталей к нанесению гальванических покрытий.
2. Механическая подготовка.
3. Обезжиривание.
4. Обезжиривание органическими растворителями.
5. Химическое обезжиривание.
6. Электрохимическое обезжиривание.
7. Травление.
8. Активирование и промывка деталей.

*Ключевые понятия:* о гальванические покрытия, защита от коррозии, декоративный вид, поверхностный слой детали, обезжиривание органическими растворителями, электрохимическое обезжиривание, химическое травление, электрохимическое травление, промывка в проточных ваннах, промывка орошением, диффузионная промывка.

*Литература:* [1, с. 1–25]

### *Методические рекомендации*

Первая тема курса дисциплины «Гальванические покрытия» направлена на получение у обучающихся представления о базовых понятиях дисциплины, определении места дисциплины в структуре образовательной программы, планируемых результаты освоения дисциплины, возможных рисках освоения дисциплины, знакомит обучающихся с формами текущего и промежуточного контроля.

Свойства гальванических покрытий. Свойства поверхностных слоев деталей. Технологии нанесения гальванических покрытий. Подготовка деталей к нанесению гальванических покрытий. Виды подготовки деталей для нанесения гальванических покрытий. Травление. Влияние концентрации кислоты на скорость травления. Влияние температуры на скорость травления. Влияние содержания солей железа на скорость травления. Преимущества сернокислых травильных растворов. Преимущества солянокислых травильных растворов. Электрохимическое травление. Промывка. Промывка в проточных ваннах. Промывка орошением. Диффузионная промывка.

### *Вопросы для самоконтроля*

1. Что такое гальваническое покрытие?
2. Дать определение коррозии металла.
3. В чем сущность механической подготовки детали к нанесению гальванического покрытия?
4. Что такое обезжиривание?
6. Виды обезжиривания поверхности.
7. Промывка, виды промывки.

## Тема 2. Основные методы и общие условия нанесения покрытий

### *Ключевые вопросы темы*

1. Механизм образования электрохимических покрытий.

2. Влияние обработки поверхности деталей на качество гальванического покрытия.

3. Виды электролитов

*Ключевые понятия:* электролит, закон Фарадея, электрохимический эквивалент, анод, катод, электрод, электрохимическая реакция.

*Литература:* [1, с. 45–78]

*Методические рекомендации*

Электрохимическая реакция Электрохимическая система. Законы Фарадея. Электролиз. Скорость электрохимических реакций.

*Вопросы для самоконтроля*

1. Электрохимическая система. Электрохимическая реакция?
2. Что такое анод, катод?
3. Первый закон Фарадея.
4. Сущность процесса нанесения гальванического покрытия.

### **Тема 3. Цинкование, хромирование**

*Ключевые вопросы темы*

1. Цинкование. Хромирование.
2. Хромирование.

*Ключевые понятия:* цинкование, фтористые электролиты, сульфатные электролиты, хлоридные электролиты, цинкаты электролиты, аммониевые электролиты.

*Литература:* [1, с. 40–54]

*Методические рекомендации*

Цинкование. Особенности процесса цинкования. Хромирование. Особенности процесса хромирования.

*Вопросы для самоконтроля*

1. Что является катодом и анодом при цинковании?
2. Перечислите виды цинковых электролитов.
3. Перечислите особенности процесса хромирования.
4. Какие хромовые электролиты вы знаете?

### **Тема 4. Никелирование. Латунирование. Меднение. Родирование. Покрытие оловом. Серебрение и золочение**

*Ключевые вопросы темы*

1. Гальванические ванны для электролита. Обогрев ванн.
2. Электролитические покрытия.
3. Меднение в цианистых электролитах.
4. Латунирование, никелирование.
5. Родирование. Покрытие оловом

*Ключевые понятия:* электролит, ванна, обогрев ванны, серноокислый электролит, достоинства и недостатки меднения, латунирования, никелирования, родирования и покрытия оловом

*Литература:* [1, с. 59–72]

### *Методические рекомендации*

Сущность и назначение гальваностегии. Сущность электрохимического осаждения металлов. Приготовление «отрыва». Приготовление отбела. Электрохимическая обработка. Механическая обработка. Источники тока. Гальванические ванны для электролита. Электролитические покрытия.

#### *Вопросы для самоконтроля*

1. Какие виды электролитических покрытий Вы знаете?
2. Какие превращения происходят в процессе нанесения электролитических покрытий?
3. Что такое меднение, латунирование?
5. Для каких деталей и изделий применяют покрытие оловом?
6. Какие детали подвергаются никелированию?
7. Какие детали и изделия подвергаются золочению?
8. Для какой цели используется серебрение?

### **Тема 5. Очистка и обезвреживание сточных вод гальванического производства**

#### *Ключевые вопросы темы*

Гальваническое производство. Сточные воды. Технологии очистки сточных вод. Продукты летучих цианидов. Обезвреживание сточных вод. Нейтрализация сточных вод и осаждение тяжелых металлов. Доочистка сточных вод гальванического производства.

*Ключевые понятия:* концентрация загрязнений, обезвреживание, окисление хромом, азотом, летучие цианиды, ядовитые и неядовитые цианиды, гальванокоагуляция.

#### *Литература: [1, с. 100–130]*

#### *Вопросы для самоконтроля*

1. На какие виды делятся сточные воды гальванического производства?
2. перечислите методы обезвреживания цианосодержащих сточных вод.

## 2 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Практические занятия проводят с целью формирования у магистров умений и навыков выбора покрытия в зависимости от условий работы изделия, расчета режима выбранного процесса нанесения гальванопокрытия, определения толщины покрытий для легких, средних, жестких и особо жестких условий работы.

Практические занятия по дисциплине «Гальванические покрытия» являются важной составной частью учебного процесса изучаемого курса, поскольку помогают лучшему усвоению курса дисциплины, закреплению знаний.

В ходе самостоятельной подготовки магистров к практическим занятиям необходимо не только воспользоваться литературой, рекомендованной преподавателем, но и проявить самостоятельность в поиске новых источников, связанных с темой практического занятия.

Для выполнения практических работ по дисциплине допускаются студенты, ответившие на контрольные вопросы по теме практического занятия.

Практическая работа считается зачтенной при выполнении условий критериев выставления оценок, приведенных в табл.1.

Тематический план практических (ПЗ) занятий представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Объем (трудоёмкость освоения) и структура ПЗ

Номер темы	Содержание практического занятия
1	Защитные свойства гальванических покрытий
2	Контроль качества гальванических покрытий
3	Техническое нормирование гальванических работ

### **Практическое занятие № 1 Защитные свойства гальванических покрытий**

*Цель:* получить навыки в определении истинной скорости анодного растворения металла в порах, определении суммарного тока коррозионных элементов, действующих на покрытия

*Задания по практической работе:*

1. Определить суммарный ток коррозионных элементов, действующих на поверхности покрытия.

2. Определить степень анодного, катодного и омического контроля.

*Методические рекомендации по выполнению практического занятия*

1. По соответствующей методике произвести предварительную подготовку поверхности образцов металла-основы (Ямпольский А.М., Ильин В.А. Краткий справочник гальванотехника Л., Машиностроение, 1981, с. 269).

После обезжиривания и электролиза в соответствующем растворе образцы промыть проточной водой. Поляризационные измерения проводятся в 0,1 н растворе NaCl, металл основы, тип гальванического покрытия, его толщина, режим снятия поляризационных кривых – по указанию преподавателя.

Анодные потенциостатические кривые снимаются в термостатированной ячейке типа ЯСЭ-2 на потенциостате (см. Инструкцию к потенциостату). Потенциал исследуемого электрода (ИЭ) измеряется относительно электрода сравнения (ЭС) и пересчитывается на нормальный водородный электрод (НВЭ) по формуле:

$$E_{ИЭ/НВЭ} = E_{ИЭ/ЭС} + E_{ЭС/НВЭ},$$

где  $E_{ИЭ/НВЭ}$  – потенциал ИЭ по шкале НВЭ;  $E_{ИЭ/ЭС}$  – потенциал ЭС по шкале НВЭ (справочная величина);  $E_{ЭС/НВЭ}$  – потенциал ИЭ относительно ЭС, т.е. показания потенциостата.

При расчетах необходимо учитывать все E.

2. Произвести расчет степени анодного, катодного и омического контроля по следующим формулам:

$$C_A = \frac{E_A}{E_A - E_K - IR} 100 \% = \frac{E_A}{E_K^0 - E_A^0} 100 \% ;$$

$$C_K = \frac{E_K}{E_A - E_K - IR} 100 \% = \frac{E_K}{E_K^0 - E_A^0} 100 \% ;$$

$$C_R = \frac{IR}{E_A - E_K - IR} 100 \% = \frac{IR}{E_K^0 - E_A^0} 100 \% ,$$

где  $C_A$  – степень анодного контроля;  $C_K$  – степень катодного контроля;  $C_R$  – степень омического контроля;  $E_A$  – анодная поляризация, т.е. смещение потенциала анода при протекании через него тока, В;  $E_A^0$  – начальный потенциал анода, В;  $E_A$  – эффективный потенциал анода (потенциал анода при пропускании через него тока), В;  $E_K^0$  – начальный потенциал катода, В;  $E_K$  – эффективный потенциал катода (потенциал анода при пропускании через него тока), В;  $E_K - E_A^0 - E_K$  – поляризация катода, В;  $IR$  – омическое падение потенциала при величине тока пары  $I$ , В;  $R$  – омическое сопротивление, Ом;  $E_K - E_A$  – эффективная разность потенциалов электродов при токе пары  $I$ , В.

Затем, зная величину коррозионного тока, произвести расчет весового показателя коррозии  $K_{вес}$ , г/м<sup>2</sup>:

$$K_{вес} = \frac{I \cdot A}{26,8 \cdot n \cdot S}$$

По результатам выполненной работы сделать вывод о механизме контактной коррозии исследуемых металлов в условиях испытания (контролирующем факторе), о коррозионной стойкости анода.

*Контрольные вопросы:*

1. Что такое истинная скорость анодного растворения металла?
2. Какие элементы называют коррозионными?
3. Как определить суммарный ток коррозионных элементов?
4. Как оценить защитные гальванические покрытия по величине тока коррозионных элементов?

## **Практическое занятие № 2 Контроль качества гальванического покрытия**

*Цель:* получить навыки в определении качества гальванического покрытия.

*Задания по практической работе:*

1. Определить пористость покрытия.
2. Контроль прочности сцепления металлического покрытия

*Методические рекомендации по выполнению практического занятия*

Определение пористости покрытий основано на взаимодействии основного металла или металла подслоя с реагентом в местах пор с образованием окрашенных соединений. Данный метод применяют для контроля пористости медных, никелевых, хромовых, оловянных, серебряных покрытий и покрытий сплавами олова на деталях из стали.

Подготовка деталей – перед проведением контроля толщины, пористости, защитных и функциональных свойств покрытий детали с покрытиями выдерживают до температуры помещения, в котором проводят контроль, и обезжиривают этиловым спиртом или пастой из окиси магния. После обезжиривания пастой детали промывают дистиллированной водой и высушивают фильтровальной бумагой или на воздухе.

При проведении контроля применяют раствор: калий железосинеродистый – 3 г/дм<sup>3</sup>; натрий хлористый – 10 г/дм<sup>3</sup>.

Среднее число пор ( $N_{cp}$ ) вычисляют по формуле

$$N_{cp} = \frac{N_{общ}}{S},$$

где  $N_{общ}$  – общее число пор на контролируемой поверхности;  
 $S$  – площадь контролируемой поверхности, см<sup>2</sup>.

*Метод погружения*

При проведении контроля деталь погружают в раствор: калий железосинеродистый – 3 г/дм<sup>3</sup>; натрий хлористый – 10 г/дм<sup>3</sup> и выдерживают в течение 5 мин при температуре 18–30 °С. На контролируемой поверхности подсчитывают число синих точек, соответствующее числу пор.

*Метод наложения фильтровальной бумаги*

При проведении контроля на подготовленную деталь накладывают фильтровальную бумагу, смоченную раствором из калий железосинеродистый – 3 г/дм<sup>3</sup>; натрий хлористый – 10 г/дм<sup>3</sup>, таким образом, чтобы между поверхностью детали и бумагой не было пузырьков воздуха. После выдержки в течение 5 мин бумагу с отпечатками пор в виде точек или

пятен снимают, промывают струей дистиллированной воды и высушивают на чистом стекле.

При проведении контроля многослойных покрытий (медь-никель-хром) для выявления пор, доходящих до меди и стали, фильтровальную бумагу с отпечатками пор после промывки накладывают на чистое стекло и наносят на нее раствор железо-синеродистого калия  $40 \text{ г/дм}^3$ . При этой обработке желтые точки (следы никеля) исчезают, затем бумагу промывают струей воды и высушивают на чистом стекле. Оставшиеся на бумаге красно-бурые и синие пятна – следы пор, доходящих до меди и стали, подсчитывают.

Для выявления пор, доходящих до никеля, фильтровальную бумагу с отпечатками пор накладывают на чистое стекло и на нее наносят аммиачный раствор диметилглиоксима (диметилглиоксим –  $2 \text{ г/дм}^3$  и аммиак  $25\%$  –  $500 \text{ см}^3/\text{дм}^3$ ). После образования в местах пор точек или пятен ярко-розового цвета, характерного для никеля, фильтровальную бумагу промывают струей воды и высушивают на стекле. При этой обработке следы пор, доходящих до меди и стали, бледнеют и не мешают подсчету пор, доходящих до никеля.

Для подсчета пор на фильтровальную бумагу с отпечатками пор накладывают стекло, разделенное на квадратные сантиметры. Число пор подсчитывают на каждом квадрате отдельно. Измеряют площадь бумаги, соприкасающейся с деталью, и вычисляют среднее число пор по формуле:

$$N_{\text{ср}} = \frac{N_{\text{общ}}}{S}.$$

#### *Метод паст*

При проведении контроля на поверхность покрытия наносят пасту, приготовленную добавлением к раствору, состоящему из калия железосинеродистого –  $3 \text{ г/дм}^3$  и натрия хлористого –  $10 \text{ г/дм}^3$  каолина до консистенции кашицы. Пасту наносят равномерно волосяной кистью, погружением или другими способами из расчета  $50\text{--}120 \text{ г/м}^2$  выдерживают в течение 5 мин и подсчитывают поры (синие точки).

#### *Электрохимический метод контроля пористости и наличия микротрещин хромовых покрытий*

Метод основан на электрохимическом осаждении меди на основном металле или подслое в местах пор и трещин в покрытии.

Осаждение меди проводят в растворе состава: медь серноокислая –  $200 \text{ г/дм}^3$ ; кислота серная (плотность  $1,84 \text{ г/см}^3$ ) –  $20 \text{ г/дм}^3$ . Катодная плотность тока  $0,3 \text{ А/дм}^2$  температура  $18\text{--}30 \text{ }^\circ\text{C}$ , продолжительность обработки не более 1 мин. Загрузку проводят под током. При определении пористости с перерывом после нанесения покрытия деталь перед осаждением меди обезжиривают химическим способом (электрохимическая обработка не допускается) и обрабатывают в растворе азотной кислоты  $15 \text{ г/дм}^3$  при температуре  $95 \text{ }^\circ\text{C}$  в течение 4 мин. Наличие пор и трещин в покрытии определяют при отраженном свете под микроскопом с увеличением  $100\times$ . Для точного подсчета пор и трещин применяют большее увеличение. Расстояние, на котором подсчитывают трещины, определяют с

помощью окуляра с микрометрической шкалой или аналитического прибора и выбирают так, чтобы при используемом увеличении можно было подсчитать не менее сорока трещин. Для подсчета пор используют фотографирование с применением микрофотонасадок к микроскопам.

#### *Методы контроля прочности сцепления покрытий*

Методы основаны на различии физико-механических свойств металла покрытия и основного металла.

Метод контроля выбирают в зависимости от вида покрытия с учетом свойств основного металла и металла покрытия, типа и назначения детали.

На деталях, которые после нанесения покрытия подвергают обработке с применением механических воздействий (полированию, шлифованию, гравированию и т. п.), контроль прочности сцепления покрытий допускается не проводить.

Для контроля допускается применять оборудование и приспособления различных типов (полировальные и крацевальные станки, муфельные печи, тиски и т. п.).

#### *Метод полирования*

Метод применяют для твердых покрытий толщиной до 30 мкм. Для полирования применяют круги из бязи, фетра и других материалов, пасту ПХВ типа ГОИ. Время полирования не менее 15 с, скорость полирования 20–30 м/с.

После полирования на контролируемой поверхности не должно быть вздутий или отслаиваний покрытия.

#### *Метод навивки*

Метод применяют для покрытий на проволоке.

Проволоку диаметром до 1 мм включительно навивают на стержень утроенного диаметра, диаметром более 1 мм – на проволоку того же диаметра так, чтобы образовалось не менее трех витков с сохранением расстояния между витками, равного диаметру проволоки.

После навивки не должно быть отслаивания покрытия. Растрескивание покрытия не учитывается.

#### *Метод растяжения*

Метод применяют для покрытий на пружинах.

Пружины с диаметром проволоки до 1 мм включительно контролируют выпрямлением, более 1 мм – растяжением пружины на двойную длину.

После выпрямления или растяжения не должно быть отслаивания покрытия. Растрескивание покрытия не учитывается.

#### *Метод нанесения сетки царапин (метод рисок)*

Метод применяют для покрытий толщиной не более 20 мкм.

На поверхности контролируемого покрытия острием (твердость материала острия должна быть выше твердости покрытия) наносят не менее трех параллельных рисок с расстоянием между ними от 2 до 3 мм и перпендикулярно к ним также не менее трех параллельных рисок. Риски наносят в одном направлении острием, установленным под углом 30°, глубиной до основного металла.

После контроля не должно быть отслаивания покрытия между линиями и в сетке квадратов.

#### *Метод нагрева*

Метод применяют для покрытий на любых деталях, кроме имеющих паяные соединения, выполненные низкотемпературными припоями.

При проведении контроля деталь (образец) с покрытием нагревают до температуры, указанной в табл.5, выдерживают при данной температуре в течение 1 ч и охлаждают на воздухе.

После контроля не должно быть вздутий или отслаиваний покрытия.

#### *Метод изменения температур*

Метод применяют для покрытий на любых деталях, кроме имеющих паяные соединения, выполненные низкотемпературными припоями.

При проведении контроля деталь (образец) с покрытием нагревают до температуры, указанной в табл. 5, выдерживают при данной температуре в течение 15 мин и быстро охлаждают погружением в воду с температурой от 15 до 25 °С.

После контроля не должно быть вздутий или отслаивания покрытия.

#### *Контрольные вопросы:*

1. Методы контроля внешнего вида покрытия.
2. Методы определения толщины покрытия.
3. Методы оценки пористости пленок
4. Характеристика и особенности капельного метода определения толщины покрытия.
5. Методика контроля прочности сцепления покрытий.

### **Практическое занятие № 3 Техническое нормирование гальванических работ**

*Цель:* получение навыков в расчетах технических норм времени на гальванические работы.

*Задания по практической работе:* пользуясь справочной литературой подобрать и рассчитать оборудование исходя из назначения производства, характеристики изделий (габаритов, формы, состояния поверхности), выбрать схемы технического нанесения покрытия, технологию приготовления, методы и средства анализа и способы корректировки электролитов, ресурс их работы, частота фильтрации, очистка, замена и др.

#### *Методические рекомендации по выполнению практического занятия*

#### *Определение фондов рабочего времени для расчёта производства*

Исходными данными, на основании которых устанавливаются фонды рабочего времени, являются: режим работы предприятия, цеха, отделения или участка и неизбежные общие годовые потери времени рабочих и оборудования. Различают: годовой фонд времени работы цеха или номинальный годовой фонд времени рабочих и оборудования; действительный годовой фонд времени оборудования; действительный годовой фонд времени рабочих.

### *Номинальный годовой фонд времени (рабочих и оборудования)*

Режим работы, по которому устанавливается номинальный годовой фонд времени рабочих и оборудования ( $T_0$ ), зависит от характера и рода производства всего предприятия, для которого проектируется гальванический цех, от местных условий работы и особенностей процессов и оборудования, устанавливаемых в цехе.

Обычно принимается 8-часовой рабочий день при 7-дневной рабочей неделе: шесть дней рабочих и один выходной. Нерабочие дни в году, кроме выходных, отмечены в календаре красным цветом – всего 9 дней. В соответствии с этим номинальный годовой фонд времени рабочих и оборудования, выраженный в сутках, составляет:

$$T_0 = 365 - 61 = 304 \text{ сут};$$

где 365 – количество суток в году; 61 – количество нерабочих дней в году.

В некоторых случаях цехи, отделения или участки по условиям производства работают непрерывно, без выходных дней, например при очень большой продолжительности процесса или при очень большой производственной программе и недостаточном количестве оборудования. Тогда номинальный годовой фонд времени рабочих и оборудования в сутках будет составлять:

$$T_0 = 365 - 9 = 356 \text{ сут}.$$

Продолжительность рабочего дня первой и второй смен равняется 8 ч. В тех случаях, когда предприятие работает в три смены, продолжительность ночной смены устанавливается не 8, а 7 ч. Для производства с очень вредными условиями труда, например при работе в закрытых пескоструйных камерах, принимается шестичасовая рабочая смена.

Если остановка гальванооборудования по условиям производства нежелательна или недопустима (например, при покрытии проволоки и ленты на конвейерной установке или при применении очень длительного процесса на каком-либо агрегате), то работа в цехе или отделении может производиться непрерывно в течение 24 ч в сутки. При непрерывной работе цеха или отделения с шестичасовым рабочим днём в этом случае применяется четырехсменный режим.

Таким образом, для нормального по вредности производства номинальный годовой фонд времени (рабочих и оборудования), выраженный в часах, будет составлять при работе: в одну смену  $T_0 z = 304 \cdot 8 = 2432$  ч, в две смены  $T_0 z = 304 \cdot 16 = 4864$  ч, в три смены  $T_0 z = 304 \cdot 23 = 6992$  ч, где  $z$  – количество часов работы цеха за сутки.

При непрерывной круглосуточной работе цеха с выходными днями:

$$T_0 z = 304 \cdot 24 = 7296 \text{ ч}.$$

При непрерывной работе без выходных дней:

$$T_0 z = 356 \cdot 24 = 8544 \text{ ч}.$$

### *Действительный годовой фонд времени оборудования*

При определении действительного годового времени оборудования  $T_d$ , нужно учесть общие годовые потери времени на неизбежные простои оборудования  $T_1$ . Эти потери обычно составляют от 3 до 10 % номинального годового фонда времени оборудования и складываются из следующих элементов: 1) времени, потребного для ремонта оборудования, 2) простоев оборудования вследствие невыхода рабочих по болезни и другим уважительным причинам, если замена их требует известной затраты времени.

Размер потерь времени на ремонт оборудования зависит от сложности оборудования и организации самого ремонта. В табл. 4 приведены общие средние годовые потери времени оборудования в процентах от номинального фонда времени оборудования.

Таблица 4 – Общие средние годовые потери времени оборудования

Укрупнение группы ремонтной сложности оборудования	Расчетные потери, % (от номинального фонда) времени оборудования		
	при работе в одну смену	при работе в две смены	при работе в три смены
I	3,0	3,5	4,5
II	3,5	4,5	6,0
III	4,0	5,0	7,0

Примечание: при непрерывной работе цеха 356 дней в году потери составляют 10 %.

Оборудование цехов металлопокрытий по степени его сложности может быть отнесено: 1) стационарные ванны и прочее немеханизированное оборудование – к 1-й группе; 2) полуавтоматы, колокольные установки, ванны с барабанами, шлифовальные и полировальные станки и т.п. – ко 2-й группе; 3) автоматы для гальванических покрытий, травления, шлифовки и полировки – к 3-й группе.

Таким образом, действительный годовой фонд времени оборудования, выраженный в часах ( $T_d z$ ), составит

$$T_d z = T_0 z - T_1 z,$$

где  $T_d$  – действительный годовой фонд времени работы оборудования, сутки;  $z$  – количество рабочих часов в сутки;  $T_0$  – номинальный годовой фонд времени оборудования, сутки;  $T_1$  – общие годовые потери на простои оборудования, сут.

### *Действительный годовой фонд времени рабочих*

Действительный годовой фонд времени рабочей силы определяется в зависимости от характера работы и особых условий производства в соответствии с общими положениями об отпусках. Продолжительность очередного отпуска рабочих предусматривается: для нормальных по вредности условий труда – в 12 рабочих дней в году, что составляет около 4 % от номинального годового фонда времени рабочих; для вредных условий труда – 18 и 24 рабочих дня (в зависимости от степени вредности), что

составляет примерно 6 и 8 % от номинального годового фонда времени рабочих.

Кроме очередных отпусков при расчете действительного годового времени рабочих нужно учесть также потери времени, неизбежные в каждом производстве (например, неявки по болезни и пр.). По данным руководящих материалов, эти потери применительно к машиностроительным заводам составляют около 4 %.

Таким образом, размер общих годовых потерь времени рабочих, установленный для этих предприятий, составляет в процентах от номинального фонда времени: при продолжительности отпуска в 12 дней – 8, 18 дней – 10, 24 дней – 12 %

#### *Установление производственной программы цеха*

В зависимости от характера задания и организации работ в цехе расчет оборудования можно производить по годовой или суточной (иногда часовой) программе цеха.

Годовая производственная программа цеха составляется в виде сводной ведомости, с разбивкой деталей на группы по основным видам обработки и указанием количества изделий, веса и размера поверхности деталей по каждой группе. Исходным материалом для установления производственной программы цеха является ведомость деталей, выданная заказчиком или составленная проектантом на основании чертежей (для облегчения составления загрузочных ведомостей целесообразно сразу разбивать в ней детали на группы и подгруппы по видам покрытий и типам оборудования).

Так как в производстве могут быть случаи исправления деталей (исправимый брак), то при установлении производственной программы цеха годовое задание нужно увеличить на такое количество деталей, которое подлежит переделке. Процент переделки продукции цеха зависит от характера процесса и условий работы цеха и принимается условно в пределах 0,5–3 % от программы по каждому виду покрытий.

В соответствии с этим годовая производственная программа цеха  $P_{\text{год}}$  составит:

$$P_{\text{год}} = P_{\text{зад}} + \frac{a \cdot P_{\text{зад}}}{100},$$

где  $P_{\text{зад}}$  – годовая программа цеха, соответствующая заданию;  $a$  – брак продукции, допускающий переделку, %.

Суточная программа цеха ( $P_{\text{сут}}$ ) определяется отношением годовой программы (с учетом переделки возможного брака) к годовому фонду времени оборудования, выраженному в сутках, т.е.

$$P_{\text{сут}} = \frac{P_{\text{год}}}{T_0} + \frac{P_{\text{год}}}{304}.$$

Суточная программа цеха выражается в данном случае, приближительной средней величиной. Производственная программа цеха в один час ( $P_{\text{час}}$ ) определяется отношением годовой программы (с учетом переделки брака) к действительному годовому фонду времени оборудования, выраженному в часах, т.е.

$$P_{\text{час}} = \frac{P_{\text{год}}}{T \cdot z}.$$

Расчет оборудования гальванических цехов по часовой программе применяется редко и имеет смысл только тогда, когда оборудование работает непрерывно, или в том случае, если расчет всего производства ведут, исходя из определенных габаритов и величины загрузки данного оборудования.

#### *Выбор оборудования*

По характеру выполняемых операций все оборудование гальванических цехов можно разделить на две группы – производственное и вспомогательное оборудование. К первой группе принадлежат ванны для покрытия, обезжиривания, травления, декапировки и промывки; барабаны, колокола, динамомашины, электродвигатели, шлифовальные и полировальные станки и т.п. К вспомогательному оборудованию относятся столы, стеллажи, различные приспособления для крепления и подвешивания деталей или изделий при покрытии, хранении, перевозке и пр., подъемные и транспортные устройства и т.д.

По конструктивному оформлению, принципу работы и условиям или особенностям эксплуатации оборудование для покрытий, химической и электрохимической обработки деталей можно разбить на следующие виды: стационарные ванны: немеханизированные (простые ванны) и частично механизированные (ванны с качающимися и движущимися катодами); оборудование для покрытий мелких деталей: барабаны, колокола и пр.; полуавтоматы: овальные и прямолинейные, а также кольцевые ванны; полуавтоматы рассчитаны на выполнение только одной операции технологического процесса, главным образом операции покрытия; в них детали за время процесса перемещаются при помощи специальных механизмов от места загрузки до места выгрузки; автоматы прямого и обратного действия (или прямолинейный и овальный) различных типов; в автоматах, кроме покрытия, выполняются также и некоторые операции по подготовке и отделке поверхности до и после покрытия; установки для покрытия проволоки и лент, на которых выполняются почти все операции технологической обработки, применяемые в гальваническом цехе; ванны или гальванические установки специального назначения.

При выборе оборудования для цехов металлических покрытий исходят из характера и объема задания (сюда относятся габариты и форма покрываемых изделий, состояние их поверхности, производственная программа; виды покрытий, способ и характер обработки деталей до и после покрытий, специальные требования задания), а также из принятого в проекте технологического процесса, т.е. рецептуры и режима процесса главным образом продолжительности основной операции.

По габаритам большинство изделий, поступающих в цех покрытий, можно разделить на две основные группы: крупные и мелкие. Крупные детали загружаются в ванны индивидуально или партиями на специальных подвесках (рамах, крючках и пр.), служащих одновременно и контактами. Мелкие детали подвергаются покрытию обычно в насыпном виде: в

барабанах, колоколах, корзинах. Как крупные, так и мелкие детали можно покрывать в стационарных ваннах, полуавтоматах и автоматах.

Преимущества автоматического оборудования по сравнению со стационарными установками следующие: более высокая производительность при меньшем числе единиц оборудования вследствие возможности увеличения плотности тока при покрытии и сокращения времени, затрачиваемого на ручную загрузку и выгрузку ванн; централизация и удобство проведения операции загрузки и выгрузки; уменьшение количества обслуживающего персонала вследствие сокращения времени на загрузку и выгрузку из ванн; точность выполнения режима всех производственных операций, регулировки и контроля времени каждого процесса.

Таким образом, проектирование автоматов целесообразно при следующих условиях:

- а) при наличии задания на большую производительность;
- б) в случае применения интенсифицированных процессов, т.е. процессов быстрого покрытия, обезжиривания и пр.;
- в) при равномерном и непрерывном поступлении изделий в проектируемый цех.

Установка автоматов в цехах с небольшой производственной программой нецелесообразна потому, что они не будут оправдывать себя экономически. В таких случаях при сравнительно большой скорости процесса покрытия можно ограничиться установкой полуавтоматов. Если же при этом и скорость процесса покрытия незначительна, то выгоднее устанавливать стационарные ванны (механизированные или немеханизированные).

#### *Определение величины загрузочной или расчетной единицы*

Перед расчетом оборудования для электролитических и химических процессов нужно установить, что является загрузочной или расчетной единицей: отдельная деталь или изделие, приспособление с деталями или сама ванна, колокол, барабан и т.п. с определенной, заранее принятой загрузкой деталями. В зависимости от характера задания и вида покрытия при определении величины загрузочной единицы деталей могут быть два случая, рассмотренные ниже.

*Первый случай.* Заданные объекты покрытий представляют собой детали, одинаковые или приблизительно одинаковые по форме, габаритам и покрываемой поверхности.

Для крупных деталей в данном случае исходной загрузочной единицей при расчете оборудования служит одна штука или единица поверхности деталей. Для мелких деталей, покрываемых в насыпном виде в барабанах, колоколах и т.п., за расчетную или загрузочную единицу принимают обычно единицу веса этих деталей – 1 кг или вес загрузки на одно приспособление (единицу оборудования): барабан, колокол, корзину и т.п.

Если мелкие детали незначительно отличаются одна от другой по габаритам и поверхности, то при большой их номенклатуре расчет оборудования можно вести по средней его загрузке деталями, исходя из

общего суммарного количества или веса всех деталей, без разделения их на какие-либо группы.

Суммарную силу тока, подаваемого на ванны, и мощность динамомашины рассчитывают по деталям, имеющим наибольшую поверхность. Следовательно, в данном случае расчетной единицей для определения силы тока будет поверхность деталей с наибольшими габаритами.

При таком расчете источники тока будут обладать некоторым небольшим запасом мощности относительно загрузки деталей с меньшей поверхностью.

При небольшом количестве наименований (2 – 3) деталей по размерам при большой производственной программе цеха расчет оборудования и силы тока можно вести для каждого вида деталей отдельно.

*Второй случай.* Объекты покрытия представляют собой детали, различные по форме, габаритам и поверхности. Такие детали обычно являются частями какого-либо сложного изделия, аппарата, машины и т.п. В этом случае детали после разбивки их на группы (по видам покрытия) и на группы (по типам оборудования, габаритам, материалу и пр.) комплектуют в загрузочные группы на приспособления – подвески (крючки, рамы и т.п.) или на ванны определенных размеров. Комплектование производят с таким расчетом, чтобы все подвески с деталями для принятой загрузочной единицы (в пределах данной группы) были примерно одинаковы как по поверхности покрытия, так и по габаритам.

В связи с этим для расчета оборудования составляется так называемая загрузочная ведомость, в которой указывается количество деталей, идущих на одну подвеску (или ванну), или количество подвесок или ванн с деталями соответственно годовой или суточной программе цеха. Таким образом, загрузочной единицей для расчета оборудования здесь является уже не деталь или изделие, а подвеска или ванна с тем или иным количеством деталей.

Если в задании указаны такие детали, которые вследствие больших размеров или тяжелого веса целесообразно завешивать в ванны индивидуально (на крючках или другого рода контактных приспособлениях), то расчетной производственной единицей, как и в первом случае, будет являться одна деталь.

Оборудование для покрытия мелких деталей в насыпном виде неодинаковых по габаритам, весу и поверхности (второй случай расчета), рассчитывают обычно также, как и в первом случае расчета, исходя из суммарной годовой или суточной программы цеха по весу или по поверхности всех деталей. В данном случае исходными расчетными единицами являются средний вес и средняя поверхность заданных деталей.

Для более точного расчета мелкие детали, имеющие резко отличные габариты, форму, вес и поверхность, следует предварительно разбить на группы и подгруппы с близкой по величине удельной поверхностью. Ёмкость и габариты барабана, колокола и других установок определяются по

наибольшей величине объёма, занимаемого деталями в насыпном виде при данном весе загрузки.

Часто в качестве расчетной, или загрузочной единицы для мелких деталей принимают величину загрузки деталями одного барабана, колокола или корзины с определенной, приблизительно одинаковой поверхностью (и весом). В этом случае загрузочную ведомость составляют по тому же принципу, что и для крупных деталей. Целесообразно группировать детали по величине их загрузки в барабан, колокол или корзину, исходя из отношения поверхности каждой детали к её весу.

#### *Определение времени обработки деталей*

Для расчета количества оборудования, применяемого при гальванических процессах, нужно установить: 1) время  $\tau$ , потребное для обработки деталей на данной операции с учётом времени на загрузку и выгрузку в минутах и 2) время  $t$  на организацию и проведение первоначальной загрузки и конечной выгрузки ванн в часах.

Время  $\tau$  относится к обработке одной загрузочной единицы или одной загрузки деталей в ванну, колокол, барабан и т.п.; время  $t$  относится ко всей партии деталей, соответствующей суточной или сменной программе цеха.

Время  $\tau$  складывается из двух величин:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2,$$

где  $\tau_1$  – время на обработку деталей в ванне, колоколе и пр. или продолжительность технологического процесса на данной операции (электролитического осаждения металлов, обезжиривания, травления и т.д.) – основное или технологическое время;  $\tau_2$  – время затрачиваемое на загрузку и выгрузку (из ванн и т.п.) деталей при данной операции их обработки – вспомогательное время, оно принимается от 1 до 10 мин.

Время  $\tau_1$  принимается по данным технологического расчета. При этом продолжительность процесса электролитического осаждения металлов рассчитывается по формуле

$$\tau_1 = \frac{\delta \cdot \gamma \cdot 1000 \cdot 60}{j_k \cdot \bar{\mathcal{E}} \cdot \text{Вт}} \text{ (мин)},$$

где  $\delta$  – толщина покрытия, мм;  $\gamma$  – удельный вес осажденного металла, г/см<sup>3</sup>;  $j_k$  – плотность тока, А/дм<sup>2</sup>; Вт – выход металла по току, %;  $\bar{\mathcal{E}}$  – электрохимический эквивалент, г/(А·ч).

При покрытии мелких деталей в насыпном виде в барабанах, колоколах и прочих устройствах под непосредственным действием тока находится только часть поверхности загруженных деталей. Величина этой части поверхности зависит от конструкции и размеров оборудования, конфигурации и количества деталей и составляет приблизительно от 1/2 до 1/4 поверхности всей загрузки.

В связи с этим при определении продолжительности осаждения металла  $\tau_1$  в барабанах и колоколах следует различать среднюю и действительную плотности тока. Средней плотностью тока  $j_{k, \text{ср}}$  в этом случае называется плотность тока, подаваемого на барабан или колокол, ко всей

поверхности загрузки. Действительная же плотность тока  $j_{к.действ}$  представляет собой отношение силы тока к открытой, т.е. покрываемой в данный момент части поверхности. Таким образом, действительная плотность тока в 2–4 раза больше средней, т. е.  $j_{к.действ}$  составляет от 2 до 4  $j_{к.ср}$ .

Расчет величины  $\tau_1$  удобнее вести по средней плотности тока. Учитывая недостаточную равномерность пересыпания деталей в барабанах и колоколах и возможное истирание покрывающего слоя с поверхности деталей, следует продолжительность электролиза  $\tau_1$  вычисленную на основании средней плотности тока по приведенной выше формуле, увеличить приблизительно на 15–25 %.

Казалось бы, что вращение деталей и перемешивание электролита при покрытии в колоколах и барабанах является теми условиями, при которых можно применять для электролиза относительно высокие плотности тока. Однако практически эта возможность не используется, вследствие чего продолжительность электролиза в колоколах и барабанах в большинстве случаев бывает значительно больше, чем при покрытии деталей в ваннах на подвесках.

Затраты времени  $\tau_2$  на загрузку и выгрузку деталей определяются в зависимости от типа оборудования и системы организации работ в цехе. Во всяком случае надо стремиться, чтобы эти затраты времени были минимальными. С этой точки зрения наиболее рациональной следует признать такую систему, при которой детали загружаются и выгружаются в процессе работы без прерыва питания током всей установки, как это обычно делается при автоматическом или полуавтоматическом оборудовании. При этом затраты времени на загрузку и выгрузку ванн могут колебаться в пределах от 1 до 3 мин. При прерывной загрузке и выгрузке ванн с выключением тока время  $\tau_2$  увеличивается до 5–10 мин.

Время  $t$  на организацию и проведение первоначальной загрузки и конечной выгрузки ванн учитывается только при прерывной, некруглосуточной работе цеха в одну или две смены и, как указано выше, относится не к отдельной загрузке, а ко всей партии деталей, соответствующей суточной или сменной программе цеха. Сюда относятся затраты времени на монтаж подвесок и подготовку поверхностей деталей, выполняемую непосредственно перед загрузкой первой партии в ванны покрытия (электрохимическое обезжиривание, декапирование, промывка), на конечные кратковременные операции химической и электрохимической обработки, выполняемые непосредственно после выгрузки последней партии деталей из ванн (промывка, осветление, сушка, демонтаж подвесок), а также на проведение первоначальной загрузки и конечной выгрузки деталей из ванны. В течение этого времени может производиться также и подготовка основного оборудования – ванн для покрытий.

В дальнейшем эти затраты времени  $t$  мы будем называть условно: "время на подготовительные и заключительные операции".

Общий показатель (в %) затрат времени  $t$  установить трудно. Он зависит от принятой системы организации работ в цехе (передача работ одной сменой рабочим другой, обеденный перерыв), типа оборудования, сложности монтажа подвесок, способа загрузки деталей в ванны и т.д. Условно можно принять, что минимальная величина времени  $t$  за сутки равняется: для стационарных ванн, колоколов и барабанов – от 30 до 50 мин; для полуавтоматов – продолжительность одного цикла прохождения деталей в полуавтомате, определяемой технологическим расчетом с учетом времени на подготовку первой и отделку последней партии подвесок, равного 30–50 мин; для автоматов – продолжительности полного цикла прохождения деталей в автомате.

При этом предполагается: 1) все работы, связанные с предварительной подготовкой к проведению первоначальной загрузки (механическая и длительная химическая подготовка поверхности, разогрев и приведение в порядок ванн и пр.) выполняются до начала или после работы смены другими рабочими; 2) подготовка деталей к последующим загрузкам в ванны покрытия проводится параллельно с работой последних; 3) загружаются детали в электролитические ванны и выгружаются из них под током без перерыва электролиза и 4) основное оборудование (электролитические ванны) передаётся одной сменой рабочим другой на ходу, т.е. без перерыва в работе.

Время  $t$  в процентах от времени работы цеха за сутки для стационарных ванн, колоколов и барабанов будет составлять: при работе цеха в одну смену – 6–10, две смены – 3–5, три смены – 2–4.

Если по условиям производства для передачи стационарного оборудования при смене рабочих требуется его остановка, то время  $t$  должно быть увеличено при двухсменной работе в два раза и при трёхсменной работе в три раза, т.е. во всех случаях оно одинаково и составляет от 6 до 10 % независимо от числа смен.

При непрерывной работе цеха в течение нескольких суток (с перерывами только на выходные дни) величина времени  $t$ ; будет значительно меньше.

В некоторых случаях время  $t$  при расчете оборудования не учитывают, считая, что оно компенсируется временем обеденного перерыва, в течение которого по заданным условиям производства работа гальванических ванн, полуавтоматов и автоматов не останавливается. При этом перерыв на обед для отдельных рабочих или групп рабочих устанавливается в различное время, если возможна замена одних рабочих другими из этой же смены.

При расчете гальванооборудования время  $t$  нужно вычесть из фонда времени оборудования ( $T_z$ ), так, как в противном случае количество единиц оборудования будет занижено. Удобнее время  $t$  выражать коэффициентом  $k$ , учитывая его в формулах расчета величины загрузки или количества единиц оборудования. Для стационарного оборудования при прерывной некруглосуточной работе цеха этот коэффициент  $k$  будет равен: 1,06–1,1 при

работе цеха в одну смену, 1,03–1,05 при работе цеха в две смены, 1,02–1,04 при работе цеха в три смены.

Затраты времени на очистку ванн, смену растворов, периодическую фильтрацию (если последнюю почему-либо нельзя производить, непрерывно, без остановки оборудования) и т.д. при прерывной работе цеха не учитываются, так как эти операции можно выполнять в нерабочие смены или в выходные дни, или за счет времени работы резервного оборудования. Если такая система обслуживания ванн неприемлема, то указанные виды работ нужно учесть в размере около 2 % от фонда времени работы оборудования.

#### *Общие указания к расчету количества оборудования*

Расчет количества при прерывной работе цеха (в одну или две смены) можно производить как по годовой ( $P_{\text{год}}$ ), так и по суточной ( $P_{\text{сут}}$ ) программе цеха. При непрерывной круглосуточной работе оборудования (без выходных дней) расчет нужно вести, исходя только из годовой программы. В основу этих расчетов ставят: 1) время обработки деталей и 2) фонд времени работы оборудования ( $T \cdot z$ ). Определение этих величин должно предшествовать расчету ванн и выполняется, как указано выше.

Нужно иметь в виду, что при прерывной работе цеха (в одну или две смены) в расчетах количества ванн, барабанов и колокольных установок по суточной и годовой программе результаты получаются иногда не вполне идентичными вследствие неодинаковых условий учета суточных потерь времени при определении количества загрузок или величины одновременной загрузки ванн.

Под суточными потерями в данном случае понимается тот остаток суточного времени, в течение которого оборудование остается неиспользованным, если количество загрузок по расчету выражается дробной величиной. Так как дробного числа загрузок в действительности быть не может, то округляют до ближайшего целого числа в большую сторону. В этом случае при расчете стационарного оборудования по суточной программе при прерывной работе цеха требуемое количество оборудования выражается большими величинами и определяется более правильно, чем при расчете по годовой программе. Однако практически эта разница имеется только при очень большой продолжительности процесса на данной операции и в этом случае лучше вести расчет по суточной программе  $P_{\text{сут}}$ .

При малой продолжительности процесса ошибка в определении количества ванн по годовой программе, исключена и сказывается только в подсчете коэффициента или процента загрузки оборудования.

При непрерывной круглосуточной работе оборудования (без выходных дней) в хорошо организованном и налаженном производстве суточные потери времени вообще отсутствуют. Все расчеты оборудования, устанавливаемого в гальваническом цехе, – стационарных ванн, полуавтоматов, автоматов, конвейерных установок для покрытия проволоки и ленты и др. – в большинстве случаев начинаются с расчета ванн для покрытия и для каждой группы и подгруппы деталей производится отдельно.

Форма расчета определяется типом выбранного оборудования и для каждого из них имеет свои особенности.

### *Расчёт стационарных ванн для покрытия деталей, вешиваемых на подвесках*

#### *Расчёт количества и производительности ванн*

Расчет количества ванн можно производить одним из рассмотренных ниже способов.

#### *Первый способ расчёта*

1. Время обработки (покрытия) одной загрузочной единицы (детали или подвески с деталями)  $\tau = \tau_1 + \tau_2$  в минутах определяется, как указано было выше.

2. Суммарное время  $\tau_c$  в часах, потребное для обработки (покрытия) годового количества загрузочных единиц, определяется по формуле:

$$\tau_c = \frac{P_{\text{год}} \cdot \tau}{60},$$

где  $P_{\text{год}}$  – годовая производственная программа цеха в штуках загрузочных единиц (деталей или подвесок с деталями).

Время на подготовительные и заключительные операции  $t$  в часах определяется, как указано было выше.

3. Количество деталей или подвесок с деталями, загружаемых одновременно во все ванны  $Y_{\text{п}}$  определяется по формуле:

$$Y_{\text{п}} = \frac{\tau_c}{T_{\text{д}} \cdot z - T_0 \cdot t} \approx \frac{\tau_c \cdot k}{T \cdot z},$$

где  $T_{\text{д}} z$  – действительный годовой фонд времени работы оборудования, час;  $T_0 \cdot t$  – суммарное время на подготовительные и заключительные операции, час.;  $k$  – коэффициент, учитывающий время на подготовительные и заключительные операции.

Если расчетная величина  $Y_{\text{п}}$  выражается дробным числом, то можно округлить ее до целого числа в большую сторону. Величина загрузки для одной ванны  $Y$  выбирается в зависимости от размеров деталей, плотности тока, конструктивных особенностей оборудования и т.д.

4. Количество одинаковых (по виду покрытия и габаритам) ванн  $n$  определяется как отношение величины одновременной загрузки всех ванн  $Y_{\text{п}}$  к принятой величине загрузки одной ванны  $Y$  т.е.

$$n = \frac{Y_{\text{п}}}{Y}.$$

Если расчетная величина  $n$  оказывается дробным числом, то последнее округляют до целого  $n'$  в большую сторону, т.е.  $n' > n$ .

5. Производительность оборудования в год  $P'_{\text{год}}$  рассчитывается по следующей формуле:

$$P'_{\text{год}} = Y \cdot n' \frac{T \cdot 60}{\tau \cdot k},$$

где  $Y$  – величина загрузки, принятая для одной ванны;  $n'$  – количество ванн, устанавливаемых в цехе.

Зная производительность оборудования, можно определить коэффициент загрузки оборудования  $k_1$ , который представляет собой отношение установленной производственной программы цеха (по количеству или поверхности деталей) к рассчитанной производительности оборудования (в год или сутки), т.е.

$$k_1 = \frac{P_{\text{год}}}{P'_{\text{год}}} \text{ или в процентах } k_1 = \frac{P_{\text{год}}}{P'_{\text{год}}} 100.$$

Приближенно коэффициент загрузки оборудования можно выражать как отношение расчетного числа единиц оборудования  $n$  к принятому  $n'$ , т.е.

$$k_1 = \frac{n}{n'} \text{ или в процентах } k_1 = \frac{n}{n'} 100$$

*Пример.* Требуется рассчитать стационарные ванны для никелирования деталей велосипеда с выпусков 300000 машин в год. Производственная программа цеха со спецификацией деталей (первая группа) приведена выше в программной и загрузочной ведомостях деталей. Данные, принятые для расчета. Согласно загрузочной ведомости в год должно быть покрыто 286588 подвесок с деталями (1 318 800 деталей) поверхностью каждая около 15 дм<sup>2</sup>.

Режим работы: прерывная семидневная рабочая неделя в две смены по 8 ч каждая. Номинальный годовой фонд времени оборудования составляет:

$$T_0 z = 307 \cdot 16 = 4912 \text{ ч.}$$

Принимаем общие годовые потери времени на простои оборудования  $T_1 z$  (ремонт и пр.) в размере 3,5 % от номинального фонда времени.

Тогда действительный годовой фонд времени оборудования с учетом годовых потерь будет равен:

$$T_d z = T_0 z - T_1 z = 4912 - 0,035 \cdot 4912 = 4740 \text{ ч.}$$

Расчет ведем по годовой программе цеха. Принимаем среднюю толщину покрытия никелем  $\delta = 0,025$  мм; плотность тока  $j_{\text{кт}} = 4$  А/дм<sup>2</sup>; температуру электролита около 50°C; выход металла по теку  $W_t = 96$  %. Электролиз протекает с перемешиванием электролита сжатым воздухом.

#### *Расчет количества ванн*

1. Определяем время, потребное для операции покрытия деталей:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2$$

а) продолжительность электролиза

$$\tau_1 = \frac{S \cdot \gamma \cdot 1000 \cdot 60}{j_k \cdot \bar{E} \cdot W_t} = \frac{0,025 \cdot 8,8 \cdot 1000 \cdot 60}{4 \cdot 0,95 \cdot 96} = 31,3 \text{ мин,}$$

б) время на загрузку и выгрузку подвесок с деталями принимаем  $\tau_2 = 1,7$  мин, следовательно, продолжительность процесса покрытия с учетом загрузки и выгрузки деталей (или продолжительность одной загрузки деталей в ванну) будет равна:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 = 31,3 + 1,7 = 33 \text{ мин,}$$

в) время на подготовительные и заключительные операции  $t$  за каждые сутки принимаем равным 0,5 ч, т.е. около 3 % от времени работы цеха за

сутки, следовательно, поправочный коэффициент к времени обработка деталей равен 1,03, а суммарное годовое время на подготовительные и заключительные операции:

$$T_0 t = 307 0,5 \approx 153 \text{ ч.}$$

2. Время, потребное для покрытия никелем годового количества подвесок с деталями  $\tau_c$  (см. загрузочную ведомость – табл. 3), равно:

$$\tau_c = \frac{P_{\text{год}} \cdot \tau}{60} = \frac{286588 \cdot 33}{60} \approx 157624 \text{ часа.}$$

3. Величина одновременной загрузки всех ванн  $Y_{\text{п}}$  с учетом подготовительного и заключительного времени равна:

$$Y_{\text{п}} = \frac{\tau_c}{T_{\text{д}} \cdot z - T_0 \cdot t} = \frac{157624}{4740 - 153} \approx 34,3 \text{ подвески или}$$

$$Y_{\text{п}} = \frac{\tau_c \cdot k}{T_{\text{д}} \cdot z} = \frac{157624 \cdot 1,03}{4740} \approx 34,3 \text{ подвески.}$$

Величину загрузки одной ванны (на две катодные штанги) берем равной  $Y = 6$  подвесок.

4. Количество ванн составит:

$$n = \frac{Y_{\text{п}}}{Y} = \frac{34,3}{6} = 5,73 \text{ ванны ;}$$

принимаем округлённо  $n' = 6$  ванн.

5. Производительность ванн  $P'_{\text{год}}$

$$P'_{\text{год}} = Y \cdot n' \cdot \frac{T_{\text{д}} \cdot z \cdot 60}{\tau \cdot k} = 6 \cdot 6 \cdot \frac{4740 \cdot 60}{33 \cdot 1,03} = 301218 \text{ подвесок.}$$

Коэффициент загрузки  $k_1$  оборудования:

$$k_1 = \frac{P_{\text{год}}}{P'_{\text{год}}} = \frac{286588}{301218} = 0,95.$$

#### *Второй способ расчета*

В отличие от первого способа количество ванн определяется как отношение суммарного времени, потребного для обработки годового количества загрузочных единиц (с учетом времени на подготовительные и заключительные операции  $t$ ) к годовому (действительному) фонду времени работы оборудования  $T \cdot z$ . Загрузочной или расчетной единицей в данном случае является загрузка деталями одной ванны, колокола, барабана и т.п. определённых габаритов и ёмкости. При этом, время обработки всех загрузок принимается равным произведению времени обработки деталей  $\tau$  на число загрузок  $x$ . Этот способ применим при большой производственной программе цеха и в том случае, если габариты и емкость ванн по загрузке заранее известны, т.е. имеются чертежи или готовое оборудование. В случае небольшой производственной программы цеха в результате расчета может оказаться, что при выбранных габаритах оборудования процент загрузки его незначителен, и тогда потребуется пересчёт на другой размер оборудования.

Ход расчёта количества и производительности ванн по этому способу.

1. Величина загрузки одной ванны  $Y$  принимается в соответствии с существующими размерами ванн и габаритами деталей или подвесок с деталями. Габариты и ёмкость ванн выбираются по чертежам стандартного оборудования, имеющегося в данном цехе.

2. Количество загрузок в год  $x_{\text{год}}$  определяется в данном случае как отношение программы цеха к величине загрузки единицы оборудования (ванны, колокола, барабана и т. п.) по формуле:

$$x_{\text{год}} = \frac{P_{\text{год}}}{Y},$$

где  $P_{\text{год}}$  – годовая производственная программа цеха в штуках подвесок с деталями, в  $\text{м}^2$  или в кг.

Если  $x_{\text{год}}$  получится дробное число, то оно округляется до целого числа в большую сторону.

3. Время, потребное для обработки (покрытия) одной загрузки  $\tau = \tau_1 + \tau_2$  в минутах, определяется, как указано выше.

4. Суммарное время  $\tau_c$  в часах, потребное для обработки всех загрузок в год, равно:

$$\tau_c = \frac{\tau \cdot x_{\text{год}}}{60}.$$

Время  $t$  на подготовительные и заключительные операции определяется, как указано выше.

5. Количество ванн  $n$  рассчитывается по формуле:

$$n = \frac{\tau \cdot k}{T_d \cdot z},$$

где  $T \cdot z$  – годовой (действительный фонд времени оборудования, ч;  $k$  – коэффициент, учитывающий время  $t$ .

Если расчетная величина  $n$  выражается дробным числом, то последнее округляют до целого числа  $n'$  в большую сторону, т.е.  $n' > n$ .

6. Производительность в год  $P'_{\text{год}}$  определяется по следующей формуле

$$P'_{\text{год}} = Y \cdot n' \cdot \frac{T_d \cdot z \cdot 60}{\tau \cdot k},$$

где  $Y$  – величина загрузки, принятая для одной ванны;  $n'$  – принятое количество ванн.

Коэффициент загрузки оборудования по предыдущему равен

$$k_1 = \frac{P_{\text{год}}}{P'_{\text{год}}}.$$

*Пример.* Требуется рассчитать количество и габариты ванн для покрытия никелем деталей велосипеда с выпуском 300 000 машин в год.

Все исходные данные, принимаемые для расчета, приведены в предыдущем примере.

1. Величина загрузки одной ванны  $Y = 6$  подвесок. Габариты ванн см. в табл. 5.

2. Количество загрузок ванн в год:

$$x_{\text{год}} = \frac{P_{\text{год}}}{Y} = \frac{286588}{6} \approx 47765 \text{ загрузок.}$$

3. Время обработки (никелирование) одной загрузки по предыдущему равно:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 = 31,3 + 1,7 = 33 \text{ мин.}$$

4. Суммарное время обработки (никелирования) всех загрузок – ванн в год равно:

$$\tau_c = \frac{\tau \cdot x_{\text{год}}}{60} = \frac{33 \cdot 47765}{60} = 26271 \text{ час.}$$

Время  $t$  на подготовительные и заключительные операции принимаем по предыдущему (первый способ) в размере 3 % от времени работы цеха ( $t \approx 0,5$  ч;  $k \approx 1,03$ ).

5. Количество ванн: 5,7 ванны

$$n = \frac{\tau_c \cdot k}{T_d \cdot z} = \frac{26271 \cdot 1,03}{4740} = 5,7 \text{ ванны.}$$

Принимаем  $n' = 6$  ванн.

6. Производительность в год:

$$P'_{\text{год}} = Y \cdot n' \cdot \frac{T_d \cdot z \cdot 60}{\tau \cdot k} = 301218 \text{ подвесок.}$$

Коэффициент загрузки  $k_1$  оборудования:

*Расчет габаритов ванн*

Внутренние размеры ванны зависят главным образом от принятого количества и размеров деталей или подвесок, загружаемых в данную ванну.

*Внутренняя длина ванны*  $l_{\text{вн}}$  (в м или мм) составляет:

$$l_{\text{вн}} = n_1 \cdot l_1 + (n_1 - 1)l_2 + 2l_3,$$

где  $l_1$  – размер деталей или подвески по длине ванны;  $l_2$  – расстояние между деталями или подвесками в ванне (30–100 мм);  $l_3$  – расстояние между торцевой стенкой ванны и краем детали или подвески (100–150 мм; для ванн с неизолированной внутренней поверхностью металлических стенок  $l_3 = 50$  мм и больше);  $n_1$  – количество деталей или подвесок, устанавливаемых в один ряд (или на одну штангу) по длине ванны.

*Внутренняя ширина ванны*  $\omega_{\text{вн}}$  (в м или мм) равна:

$$\omega_{\text{вн}} = n_2 \cdot \omega_1 + 2n_2 \cdot \omega_2 + 2\omega_3 + n_3 \cdot D,$$

где  $\omega_1$  – размер деталей (или подвески) по ширине ванны; если в одну и ту же ванну загружаются различные по габаритам детали, то величина  $\omega_1$  должна соответствовать детали, имеющей наибольший размер по ширине ванны;  $\omega_2$  – расстояние между анодом и ближайшим краем деталей; величина  $\omega_2$  зависит от системы завески и конфигурации детали и увеличивается для рельефных деталей; для деталей, имеющих правильную форму (плоскость, цилиндры небольшого диаметра), можно допускать  $\omega_2$  в пределах 100–150 мм, для рельефных деталей более или менее сложной формы  $\omega_2$  берут в пределах 150–200 мм;  $\omega_3$  – расстояние между внутренней стенкой

продольного борта ванны и анодом (50–100 мм; для ванн с неизолированной внутренней поверхностью металлических стенок  $\omega_3 = 150$  мм и больше);  $n_2$  – количество катодных штанг;  $n_3$  – количество анодных штанг (в большинстве случаев  $n_3 = n_2 + 1$ );  $D$  – толщина анода, мм.

*Внутренняя высота ванны  $h_{\text{вн}}$*  (в м или мм) без бортовой вентиляции равна:

$$h_{\text{вн}} = h_3 + h_6 = (h_1 + h_2 + h_3) + h_6,$$

где  $h_3$  – высота уровня электролита;  $h_1$  – высота деталей или подвески без подвешивающего крюка;  $h_2$  – расстояние от дна ванны до нижнего края деталей или подвески; величина  $h_2$  зависит от материала ванны (для ванн с неизолированными внутренними металлическими стенками она должна быть больше), а также от расположения паропроводных и воздухопроводных труб в ванне;  $h_2$  обычно бывает в пределах 150–300 мм;  $h_3$  – высота электролита над верхним краем детали (20–50 мм);  $h_6$  – расстояние от поверхности зеркала электролита до верхнего края бортов ванны (бортовая вентиляция здесь не учитывается); для ванны, работающей без перемешивания сжатым воздухом,  $h_6$  берут в пределах 100–50 мм, а для ванны с перемешиванием 150–250 мм.

*Объём электролита в ванне составляет:*

$$V = V_1 - V_2,$$

где  $V_1$  – объём электролита (в литрах) вместе с деталями и анодами, навешиваемыми в ванну ( $V_1 = l_{\text{вн}} \cdot \omega_{\text{вн}} \cdot h_3$ );  $V_2$  – объём металла в деталях и анодах,  $\text{дм}^3$ .

*Наружные размеры ванны* складываются из соответствующих внутренних её размеров, толщины стенок, дна и пр. Толщина стенок зависит от материала ванны и изоляции, габаритов и конструктивных её особенностей (система крепления, способ нагревания, например с "рубашкой" или без неё, и пр.).

Толщина стенок железных ванн, применяемых для щелочных растворов, колеблется в пределах от 4 до 8 мм. Толщина стенок деревянных ванн без изоляции составляет 50–100 мм.

*Пример:* В соответствии с данными, полученными в предыдущих расчетах, выбираем ванну на две катодные штанги с загрузкой по три подвески на каждую. Габариты подвески: 400x100x500 мм. Внутренние размеры

*а) длина:*

$$l_{\text{вн}} = n_1 \cdot l_1 + (n_1 - 1)l_2 + 2l_3 = 3 \cdot 400 + 2 \cdot 100 = 1500 \text{ мм} = 15 \text{ дм};$$

*б) ширина:*

$$\omega_{\text{вн}} = n_2 \cdot \omega_1 + 2n_2 \cdot \omega_2 + 2\omega_3 + n_3 \cdot D;$$

$$\omega_{\text{вн}} = (2 \cdot 100) + (2 \cdot 2 \cdot 140) + (2 \cdot 50) + (3 \cdot 10) = 890 \approx 900 \text{ мм} \approx 9 \text{ дм};$$

*в) высота:*

$$h_{\text{вн}} = h_3 + h_6 = (h_1 + h_2 + h_3) + h_6 = (500 + 200 + 50) + 150 = 900 \text{ мм} = 9 \text{ дм}.$$

Можно считать, что объём электролита в ванне равен:

$$V \approx V_1 \approx l_{\text{вн}} \cdot \omega_{\text{вн}} \cdot h_3 = 15 \cdot 9,0 \cdot 7,5 = 1000 \text{ л}.$$

Для сокращения расчёта наружные размеры ванны в данном случае не вычисляем.

#### *Расчет поверхности загрузки и силы тока*

Поверхность загрузки складывается из двух величин: рабочей поверхности, т.е. поверхности деталей, и нерабочей поверхности, т.е. поверхности материала завешивающих приспособлений в неизолированной части. Надо стремиться к тому, чтобы нерабочая поверхность была минимальной, так как она вызывает бесполезный частичный расход тока, потери осаждаемого металла и загрязнение электролита металлическими наростами, спадающими с подвесок. При хорошей изоляции подвесок (за исключением тех мест, которые контактируют с деталями) величиной нерабочей поверхности можно пренебречь. Таким образом, суммарная поверхность загрузки для одной ванны  $S_y$  составит:

$$S_y = (S_1 + S_2) \cdot Y,$$

где  $S_1$  – рабочая поверхность деталей на одной подвеске;  
 $S_2$  – нерабочая поверхность материала подвески в неизолированной части;  
 $Y$  – количество подвесок с деталями в одной ванне.

Суммарная поверхность одновременной загрузки всех ванн  $S_{\Pi}$  соответственно установленной их производительности выразится:

$$S_{\Pi} = S_y \cdot n' = (S_1 + S_2) \cdot Y \cdot n'.$$

Сила тока определяется по формулам:

на одну ванну:

$$I_y = S_y \cdot j_k;$$

на все ванны одного типа:

$$I_{\Pi} = S_{\Pi} \cdot j_k = I_y \cdot n',$$

где  $j_k$  – плотность тока.

*Пример.* В соответствии с данными, принятыми и полученными в предыдущих расчётах, для определения поверхности загрузки за исходную единицу  $S_1$  принимаем подвеску с деталями, имеющую наибольшую рабочую поверхность, т.е.  $S_1 = 14,72$  дм. Поверхность неизолированной части подвесок (наибольшая поверхность) принимаем равной 5 % от рабочей поверхности, т.е.  $S_2 = 14,72 \cdot 0,05 = 0,74$  дм<sup>2</sup>.

Следовательно, поверхность одновременной загрузки выразится: для одной ванны:

$$S_y = (S_1 + S_2) \cdot Y = 6 (14,72 + 0,74) = 92,76 \text{ дм}^2 \approx 93 \text{ дм}^2 ;$$

для всех (шести) ванн:

$$S_{\Pi} = S_y \cdot n' = 93 \cdot 6 = 588 \text{ дм}^2 .$$

Сила тока составит:

на одну ванну:

$$I_y = S_y \cdot j_k = 93 \cdot 4 = 372 \text{ А};$$

на все ванны:

$$I_{\Pi} = I_y \cdot n' = 372 \cdot 6 = 2232 \text{ А}.$$

При выборе генератора постоянного тока на основании существующих стандартов для данного случая можно принять три динамомашин на 1000 А и 6 В каждая.

*Расчёт оборудования для покрытия мелких деталей в насыпном виде  
(в барабанах, колоколах, и пр.)*

Расчёт количества указанных типов оборудования производится любым из способов, рассмотренных выше при расчете стационарных ванн, загружаемых деталями на подвесках. В случае большой производственной программы и установки барабанов, и колоколов определённых габаритов и ёмкости расчет их количества удобнее вести, исходя из годовой программы. Ниже приведены примеры расчетов барабанов и колоколов. Расчёты времени обработки детали ( $\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_c$ ) и количества единиц оборудования производятся также, как было указано выше в расчете ванн, загружаемых деталями на подвесках. Необходимо учитывать при этом некоторые особенности в расчете времени обработки  $\tau_1$  для деталей, покрываемых в насыпном виде (в барабане, колоколе и т.п.), которые приведены выше в соответствующем разделе. Величину загрузки  $Y_{\text{п}}$  и  $Y$  в отличие от предыдущих расчетов в данном случае удобнее выражать в весовых единицах (кг). При расчете суммарной поверхности загрузки определяют, поверхность всех деталей, загруженных в тот или иной аппарат для покрытия, и поверхность всех неизолированных контактов, подводющих ток к деталям. Поверхность загрузки одного барабана или колокола составит:

$$S_y = S_1 \cdot Y + S_2,$$

где  $Y$  – величина загрузки деталей, кг;  $S_1$  – поверхность одного кг деталей,  $\text{дм}^2$ ;  $S_2$  – поверхность контактов в одном барабане или колоколе.

Суммарная поверхность загрузки всего количества единиц оборудования одного вида выразится:

$$S_{\text{п}} = S_y \cdot n' = (S_1 \cdot Y + S_2) \cdot n'.$$

Сила тока:

на один барабан или колокол:

$$I_y = S_y \cdot j_{\text{к(ср)}};$$

на все оборудование одного вида:

$$I_{\text{п}} = S_{\text{п}} \cdot j_{\text{к(ср)}} = I_y \cdot n'.$$

где  $j_{\text{к(ср)}}$  – средняя плотность тока.

*Расчёт барабанов*

Во избежание потерь тока, обрастания контактов покрывающим металлом (ось барабана, втулки осей, подшипники и пр.) обычные цилиндрические барабаны следует погружать в электролит на  $1/3$ – $2/5$  их диаметра, а шестигранные на  $1/3$ – $2/5$  диаметра вписанной окружности. Барабаны загружаются деталями по высоте их укладки на плоской грани на  $1/6$ – $1/4$  диаметра вписанной окружности в зависимости от конфигурации и величины деталей и конструкции барабана. Для установления габаритов барабана нужно задаться его длиной и определить экспериментальным путем или приблизительным расчетом объем, занимаемый деталями. Объем  $V''$ , занимаемый деталями в барабане, зависит от конфигурации, толщины или веса деталей и равен приблизительно 3–10-кратному объему  $V'$  металла в них, т.е. если  $V' = Y/\gamma$  (где  $Y$  – величина загрузки барабана по весу

покрываемых деталей;  $\gamma$  – удельный вес металла деталей), то  $V''$  составляет от  $3V'$  до  $10V'$ .

Внутренние размеры ванны, в которую погружается барабан, определяются прежде всего размерами самого барабана, а также конструкцией и системой крепления его на ванне.

Длина ванны для барабана:

$$l_{\text{вн}} = l_{\text{бар}} + 2l_3,$$

где  $l_{\text{бар}}$  – наружная длина барабана;  $l_3$  – расстояние между торцовыми стенками ванны и барабана (с каждой стороны); в зависимости от конструкции барабана величина  $l_3$  колеблется от 100 до 200 мм.

Ширина ванны (для одного барабана в ванне):

$$\omega_{\text{вн}} = D_{\text{нар}} + 2\omega_2 + \omega_3 + 2D,$$

где  $D_{\text{нар}}$  – наружный диаметр барабана (диаметр окружности, описанной по барабану);  $\omega_2$  – расстояние между анодом и ближайшим краем барабана (100 – 200 мм);  $\omega_3$  – расстояние между анодом и продольной стенкой ванны (50 – 100 мм);  $D$  – толщина анода.

Высота ванны:

$$h_{\text{вн}} = h_3 + h_6 = h_1 + h_2 + h_6,$$

где  $h_3$  – высота уровня электролита;  $h_1$  – глубина погружения барабана в электролит по наружному диаметру; по условию  $h_1 = 1/3 \cdot D_{\text{вн}} + (D_{\text{бар}} - D_{\text{вн}})/2$  (здесь  $D_{\text{вн}}$  – внутренний диаметр барабана, т.е. диаметр окружности, вписанной в барабан);  $h_2$  – расстояние от дна ванны до нижнего края барабана – по описанной окружности (150–300 мм);  $h_6$  – расстояние от верхнего уровня (зеркала) электролита до верхнего края бортов ванны (200–300 мм).

Объём электролита в ванне и наружные размеры ванны определяются аналогично тому, как было указано выше в расчёте стационарных ванн, загружаемых деталями на подвесках.

Размеры и конструкция барабана должны быть таковы, чтобы обеспечивалось выполнение следующих требований: надёжный контакт деталей с подводными катодными приспособлениями; достаточно равномерное пересыпание деталей при вращении барабана; отсутствие в барабане лишних, неизолированных участков поверхности металла, находящихся под током в электролите; в противном случае будут наблюдаться быстрое обрастание стенок барабана покрывающим металлом, излишний расход металла, непроизводительная трата электроэнергии и т.д.; возможность осуществления быстрого ремонта и замены изношенных частей новыми; быстрота загрузки, выгрузки и пуска барабана; простота и удобство обслуживания; достаточное количество отверстий в стенках барабана (грани шестигранника) возможно большего диаметра.

Скорость вращения барабана при покрытии изделий цинком, кадмием, медью и прочими сравнительно мягкими металлами в зависимости от веса деталей колеблется в пределах от 3 до 5 об/мин. Для этих видов покрытий не следует превышать указанную скорость, так как это может привести к

истиранию покрывающего металла (при галтовке) и уменьшению толщины покрытия. Для никелирования можно брать большую скорость вращения барабана (до 7–10 об/мин).

*Пример.* Требуется рассчитать барабаны для никелирования медных деталей велосипеда с годовым выпуском 300000 машин. Программа цеха приведена в ведомости деталей. Для краткости принимаем условно покрытие никелем без подслоя меди.

Данные, принятые для расчёта. Годовая производственная программа цеха с учетом 1 % брака, допускающего переделку,  $P_{\text{год}}$  по первой группе деталей, покрываемых в барабане, составляет: вес – 25450 кг, поверхность – 4666 м<sup>2</sup>.

Работа производится в две смены по 8 ч в каждой.

Номинальный годовой фонд времени оборудования составляет:

$$T_0 \cdot z = 304 \cdot 16 = 4864 \text{ ч.}$$

Общие годовые потери времени на неизбежные простои оборудования

$T_1 \cdot z = 4,5 \%$  от номинального годового фонда времени оборудования,

$$\text{т.е. } T_1 \cdot z = 0,045 \cdot T_0 \cdot z = 0,045 \cdot 4864 = 218 \text{ ч.}$$

Действительный годовой фонд времени работы оборудования:

$$T \cdot z = T_0 \cdot z - T_1 \cdot z = 4864 - 218 = 4646 \text{ ч.}$$

Расчёт ведём по годовой программе цеха. Толщина покрытия никелем  $S = 0,015$  мм. Средняя плотность тока  $j_{\text{к(ср)}} = 0,7$  А/дм<sup>2</sup>, следовательно, действительная плотность тока составит от 1,5 до 3 А/дм<sup>2</sup>. Выход металла по току  $\eta_T = 95 \%$ .

*Расчет количества барабанов.* Расчет производим по первому способу.

1. Определяем время обработки (покрытия) одной загрузки деталей:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2.$$

Продолжительность электролиза:

$$\tau_1 = \frac{S \cdot \gamma \cdot 1000 \cdot 60}{j_{\text{к}} \cdot C \cdot \eta_T} = \frac{0,015 \cdot 8,8 \cdot 1000 \cdot 60}{0,7 \cdot 1,095 \cdot 95} \approx 109 \text{ мин.}$$

Учитывая недостаточную равномерность пересыпания деталей и некоторое истирание покрывающего слоя при вращении барабана, полученную продолжительность электролиза увеличиваем на 15 %.

Тогда:

$$\tau_1 = 109 + (0,15 \cdot 109) \approx 125 \text{ мин.}$$

Время  $\tau_2$  на загрузку и выгрузку деталей в барабанах принимаем условно равным 5 мин. Тогда:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 = 125 + 5 = 130 \text{ мин.}$$

Так как в данном случае продолжительность покрытия в барабанах более 1 ч, то останавливать их на время обеденного перерыва не следует. Поэтому при данных условиях можно принять, что время  $t$ , затрачиваемое на подготовительные и заключительные операции, компенсируется временем обеденного перерыва (1 ч), в течение которого работа оборудования продолжается.

2. Находим суммарное время, потребное для обработки (покрытия) годового количества деталей:

$$\tau_c = \frac{P_{\text{год}} \cdot \tau}{60} = \frac{25450 \cdot 130}{60} \approx 55159 \text{ ч.}$$

3. Величина одновременной загрузки всех барабанов составит:

$$Y_{\text{п}} = \frac{\tau_c}{T \cdot z} = \frac{55159}{4691} \approx 12 \text{ кг.}$$

Величину загрузки одного барабана берём равной  $Y = 5$  кг.

4. Количество барабанов:

$$n = \frac{Y_{\text{п}}}{Y} = \frac{12}{6} = 2 \text{ барабана}$$

(в данном случае  $n' = n$ ).

5. Вычисляем производительность барабанов в год:

$$P'_{\text{год}} = Y \cdot n' \cdot \frac{T \cdot z \cdot 60}{\tau} = 6 \cdot 2 \cdot \frac{4646 \cdot 60}{130} = 25732 \text{ кг.}$$

Коэффициент загрузки  $k_1$  оборудования:

$$k_1 = \frac{P_{\text{год}}}{P'_{\text{год}}} = \frac{25450}{25732} \approx 0,99.$$

*Габариты барабанов и ванн для них.* Определяем объем металла покрываемых деталей:

$$V' = \frac{6,0}{7,8} \approx 0,77 \text{ дм}^3.$$

Объем, занимаемый деталями в насыпном виде, в барабане в данном случае можно принять:

$$V'' = 6 \cdot 0,77 \approx 4,6 \text{ дм}^3.$$

Диаметр и длину барабана определяем следующим образом. Принимаем загрузку барабана деталями (по высоте укладки деталей на одной из плоских граней барабана) на  $1/6$  внутреннего его диаметра, т.е. на  $1/6$  диаметра вписанной в шестиугольник окружности.

Таким образом, высота укладки:

$$KL = 1/3 \cdot OK,$$

где  $OK$  – радиус вписанной окружности.

Так как

$$OK = a \cdot \sin 60^\circ = \frac{a\sqrt{3}}{2},$$

где  $a$  – сторона шестиугольника, то

$$KL = \frac{a\sqrt{6}}{6}.$$

Для определения внутреннего и наружного диаметров барабана (т.е. диаметров вписанной и описанной окружностей) нужно задаваться его внутренней длиной  $l$  и рассчитать площадь трапеции  $ABCD$ .

Площадь трапеции  $ABCD$ :

$$S_{\text{тр}} = \frac{AB + CD}{2} KL,$$

где  $AB = a$ ;  $KL = \frac{a\sqrt{3}}{6}$ ;  $CD = 2a - 2EF$ .

Так как

$$EF = \frac{2}{3}a \cdot \cos 60^\circ = \frac{2}{3}a \cdot \frac{1}{2} = \frac{a}{3}, \text{ то } CD = 2a - \frac{2}{3}a = \frac{4}{3}a.$$

Следовательно, площадь трапеции ABCD:

$$S_{mp} = \frac{a + \frac{4}{3}a}{2} \cdot \frac{a\sqrt{3}}{6} = \frac{7a^2\sqrt{3}}{36}.$$

Если принять внутреннюю длину барабана  $l = 500 \text{ мм} = 5 \text{ дм}$ , то указанный выше объем, занимаемый деталями по контуру ABCD составит:

$$V'' = 5 \frac{7a^2\sqrt{3}}{36} = 4,6 \text{ дм}^3.$$

Отсюда:

$$a = \sqrt{\frac{4,6 \cdot 36}{5 \cdot 7 \sqrt{3}}} \approx \sqrt{2,7} \approx 1,65 \text{ дм}.$$

Таким образом, диаметры барабана равны:

$$D_{\text{вн}} = 20K = ar3 = 1,65\sqrt{3} \approx 2,9 \text{ дм} = 290 \text{ мм}; D_{\text{нар}} = 2a + 2m = 330 + 2m,$$

где  $m$  – толщина стенок и угольников барабана, зависящая от конструкции и материала барабана.

Если принять условно  $m = 15 \text{ мм}$ , то  $D_{\text{нар}} = 360 \text{ мм}$ . Наружная длина барабана  $l_{\text{бар}}$  также зависит от его конструкции и материала. Примем условно:

$$l_{\text{бар}} = 500 + 100 = 600 \text{ мм}.$$

Высота укладки деталей на одной из плоских граней барабана:

$$KL = \frac{1}{3}OK = \frac{290}{6} \approx 50 \text{ мм}.$$

Определим теперь внутренние габариты ванны для барабана.

Длина ванны:

$$l_{\text{вн}} = l_{\text{бар}} + 2l_3 = 600 + 300 = 900 \text{ мм}.$$

Ширина ванны:

$$\omega_{\text{вн}} = D_{\text{нар}} + 2\omega_2 + 2\omega_3 + 2D = 360 + 300 + 100 + 20 = 780 \text{ мм} \approx 800 \text{ мм}.$$

Высота ванны:

$$h_{\text{вн}} = h_3 + h_6 = h_1 + h_2 + h_6 = \left[ \frac{1}{3}D_{\text{вн}} + \frac{D_{\text{нар}} + D_{\text{вн}}}{2} \right] + h_2 + h_6 = \\ = 132 + 250 + 300 = 682 \text{ мм} \approx 700 \text{ мм}$$

Определим объем электролита в ванне. Если для упрощения расчета пренебречь объемом металла в деталях, анодах и т.д., то

$$V = V_1 = l_{\text{вн}} \cdot \omega_{\text{вн}} \cdot h_3 = 9,0 \cdot 8,0 \cdot 3,8 = 270 \text{ л}.$$

Наружные габариты ванны см. в прил. 1.

*Суммарная поверхность одновременной загрузки, и сила тока.*

Принимаем условно, что для данного случая нерабочая поверхность составляет 3% рабочей поверхности.

Следовательно, поверхность загрузки составит:

а) для обычного барабана

$$S_y = S_1 \cdot Y + S_2 = \frac{466600 \cdot 6}{25450} + 0,03S_1 \cdot Y \approx 110 + 3,3 \approx 114 \text{ дм}^2;$$

б) для двух барабанов

$$S_n = S_y \cdot n = 114 \cdot 2 = 228 \text{ дм}^2.$$

Сила тока равна:

а) для одного барабана

$$I_y = S_y \cdot j_{к(ср)} = 114 \cdot 0,7 \approx 80 \text{ А};$$

б) для двух барабанов

$$I_n = I_y \cdot n = 160 \text{ А}.$$

#### *Расчёт колокольных ванн*

*Колокольные установки.* При расчёте ёмкости колокола можно исходить из объёма, занимаемого деталями, соответственно принятой величине загрузки для каждого колокола  $Y$ .

Объём  $V''$ , занимаемый деталями, можно определить экспериментально по насыпному весу или принять его, как указано выше, равным 3–10-кратному объёму  $V''$  металла в изделиях.

Объём электролита  $V_{эл.}$  вместе с объёмом, занимаемым деталями, должен быть приблизительно равен 3–6-кратному объёму, занимаемому деталями (в зависимости от величины насыпного веса или конфигурации деталей), т.е. от 3 до 6  $V''$ .

Объём всего колокола  $V_{пол}$  в зависимости от соотношения диаметров дна и верхнего отверстия, а также угла его наклона к плоскости пола можно принять равным приблизительно 1,5–2-кратному объёму электролита вместе с объёмом, занимаемым деталями, т.е. от 1,5 до 2  $V_{эл.}$

Количество колоколов  $n$  определяется таким же образом, как и количество барабанов.

При выборе размеров и конструкции колокола следует принимать те же требования, которые предъявляются к барабанам.

Скорость вращения колокола рекомендуется выбирать в пределах от 7 до 10 об/мин.

*Пример.* Требуется рассчитать колокола для никелирования (без медного подслоя) мелких деталей велосипеда с годовым выпуском 300 тыс. машин. Годовая производственная программа цеха с учетом 1 % брака, допускающего переделку  $P_{год}$  по второй подгруппе деталей, покрываемых в колоколах, составит: вес – 16510 кг, поверхность – 3151 м<sup>2</sup>. Толщина покрытия никелем  $S = 0,01$  мм. Средняя плотность тока  $j_{к(ср)} = 0,5$  А/дм<sup>2</sup>. Следовательно, действительная плотность тока составляет от 1 до 2 А/дм<sup>2</sup>. Выход металла по току  $\eta_t = 95$  %. Работа производится в две смены по 8 ч каждая. Действительный годовой фонд времени оборудования, как и в предыдущем примере,  $T \cdot z = 4691$  ч.

#### *Расчет количества колокольных ванн*

Расчет проводим по первому способу:

1. Продолжительность процесса в данном случае равна:

$$\tau_1 = \frac{S \cdot \gamma \cdot 1000 \cdot 60}{j_{к(ср)} \cdot C \cdot \eta_t} = \frac{0,01 \cdot 8,8 \cdot 1000 \cdot 60}{0,5 \cdot 1,095 \cdot 95} \approx 102 \text{ мин.}$$

Принимаем  $\tau_2 = 8$  мин. и на неравномерность перемещения детали по предыдущему 15 % от времени  $\tau_1$ .

Следовательно, время обработки одной загрузки  $\tau$  составляет:

$$\tau = \tau_1 + 0,15\tau_1 + \tau_2 = 102 + 15 + 3 = 125 \text{ мин.}$$

Так как в данном случае продолжительность покрытия в колоколах более 1 ч, то останавливать их на обеденный перерыв не следует. Поэтому при данных условиях можно принять, что время  $t$  затрачиваемое на подготовительные и заключительные операции, компенсируется временем обеденного перерыва (1 ч), в течение которого работа оборудования продолжается.

2. Находим суммарное время  $\tau_c$  потребное для обработки (покрытия) годового количества деталей:

$$\tau_c = \frac{P_{\text{год}} \cdot \tau}{60} = \frac{16510 \cdot 125}{60} \approx 34396 \text{ час.}$$

3. Величина одновременной загрузки во все колокола составит:

$$Y_{\text{п}} = \frac{\tau_c}{T \cdot z} = \frac{34396}{4691} \approx 7,4 \text{ кг.}$$

Величину загрузки одного колокола берем равной

$$Y = 2,0 \text{ кг.}$$

4. Количество колоколов составит:

$$n = \frac{Y_{\text{п}}}{Y} = \frac{7,4}{2,0} = 3,7 \text{ колокола.}$$

Принимаем  $n' = 4$  колокола.

5. Производительность колоколов в год выразится следующими цифрами:  
ми:  $P'_{\text{год}} = Y \cdot n' \cdot \frac{T \cdot z \cdot 60}{\tau} = 2 \cdot 4 \cdot \frac{4691 \cdot 60}{125} = 18013 \text{ кг.}$

Коэффициент загрузки  $k_1$  колоколов:

$$k_1 = \frac{P_{\text{год}}}{P'_{\text{год}}} = \frac{16510}{18013} \approx 0,92.$$

*Габариты колоколов.* Для определения габаритов колокола находим объём металла покрываемых изделий в одном колоколе:

$$V' = \frac{Y}{\gamma} = \frac{2,0}{7,8} \approx 0,26 \text{ дм}^3.$$

Объём, занимаемый деталями в насыпном виде в одном колоколе, принимаем равным:

$$V'' = 6V' = 6 \cdot 0,26 \approx 1,6 \text{ дм}^3.$$

Объём электролита вместе с объёмом, занимаемым деталями:

$$V_{\text{эл}} = 6V'' = 1,6 \cdot 6 = 9,6 \text{ дм}^3 \approx 10 \text{ дм}^3.$$

Объём одного колокола

$$V_{\text{кол}} = 1,5 \cdot 10 = 15 \text{ дм}^3.$$

Внутренние габариты (диаметр и высоту) колокола можно определить по формуле усеченного конуса:

$$V_{\text{пол}} = \left( R^2 + r^2 + R \cdot r \right) \frac{\pi h}{3},$$

где  $R$  – радиус основания конуса (дна колокола);  $r$  – радиус верхнего отверстия колокола;  $h$  – высота колокола (конуса).

Согласно этой формуле нужно задаться величинами R и r или R и h. При выборе значений этих величин принимаем следующие условия:

$$r = 0,7R \text{ или } h > 2R.$$

Берём для данного случая  $R = 140$  мм. Тогда

$$r = 0,7 \cdot 140 = 98 \approx 100 \text{ мм и } h = \frac{3V_{\text{кол}}}{(R^2 + r^2 + R \cdot r)\pi} \approx 328 \text{ мм}$$

Угол наклона колокола к плоскости пола  $\varphi = 50^\circ$ .

*Суммарная поверхность одновременной загрузки  $S_v$  и  $S_n$  и сила тока.*

Принимаем условно, что для данного случая нерабочая поверхность  $S_2$  составляет 3% рабочей поверхности  $S_1$ . Следовательно:

$$S_y = S_1 \cdot Y + S_2 = \frac{315100 \cdot 2,0}{16510} + 0,03S_1 \cdot Y \approx 38 + 1,2 \approx 40 \text{ дм}^2$$

$$S_y \cdot n = 40 \cdot 4 = 160 \text{ дм}^2.$$

Сила тока составляет:

а) на один колокол:

$$I_y = S_y \cdot j_{\text{к(ср)}} = 40 \cdot 0,5 = 20 \text{ А};$$

б) на четыре колокола:

$$I_n = I_y \cdot n = 20 \cdot 4 = 80 \text{ А}.$$

Концентрация тока в каждом колоколе или объёмная плотность тока в данном случае равна

$$20/10=2,0 \text{ А/л},$$

т.е. в данном случае величина допустимая.

Расчет количества колоколов по второму способу приводит к тем же результатам. Исходной величиной в этом случае является производственная программа цеха  $P_{\text{год}}$ , которая согласно ведомости деталей составляет: вес – 16510 кг; поверхность – 3151 м<sup>2</sup>. Для определения величины загрузки одного колокола принимаем следующие внутренние его размеры (по данным предыдущего расчета): радиус основания (дна колокола)  $R = 140$  мм, радиус верхнего отверстия  $r = 100$  мм, высота колокола  $h = 330$  мм. Объём такого колокола составляет:

$$V_{\text{кол}} = \frac{(R^2 + r^2 + R \cdot r)\pi \cdot h}{3} \approx 15 \text{ дм}^3$$

*Расчет габаритов АОЛ*

Ширина линии складывается из длины ванны и ширины площадки обслуживания. Высота линии определяется высотой ванны, высотой металлоконструкций, по которым вертикально перемещается автооператор, и пространством под ваннами для сточных вод. Наиболее существенный габаритный размер – длина линий  $L$ . Ее рассчитывают по формуле

$$L = nW + W_c + W_{з/р} + \Delta W_c + n_0 \Delta W_0 + n_1 \Delta W_1 + n_2 \Delta W_2 + W_6,$$

где  $n$  – количество ванн одного типоразмера;  $W$  – ширина ванны принятого типоразмера;  $W_c$  – ширина сушильной камеры: для барабанов – 600, 700 мм, для барабанов саморазгружающихся и двухрядных подвесок – 800 мм, для подвесок – 600 мм;  $W_{з/р}$  – ширина загрузочно-разгрузочной стойки;  $\Delta W_c$  – зазор между сушильной камерой и загрузочно-разгрузочной

стойкой;  $n_0$  – количество комбинаций соседних ванн без бортовых отсосов;  $\Delta W_0$  – зазор между стенками ванн без бортовых отсосов;  $n_1$  – количество односторонних бортовых отсосов;  $\Delta W_1$  – зазор между стенками ванн с односторонними бортовыми отсосами;  $n_2$  – количество двухсторонних бортовых отсосов;  $\Delta W_2$  – зазор между стенками ванн с двухсторонними бортовыми отсосами;  $W_6$  – ширина одностороннего бортового отсоса на краю линии.

Таблица 5 – Значения  $W_{з/р}$ ,  $\Delta W$  и  $W_6$ , мм, для ванн различной длины

Длина ванны, мм	Ширина стойки $W_{з/р}$ , мм		$\Delta W_0$ , мм	$\Delta W_1$ , мм	$\Delta W_2$ , мм	$W_6$ , мм
	четырёхпозиционной	однопозиционной				
1000, 1120	1115	600	160	290	390	212
1500, 1600	2415	600	160	290	390	212
2000, 2240	3100	600	230	360	460	247

*Контрольные вопросы:*

1. Какие электролиты применяют для нанесения медных, никелевых, цинковых и других гальванических покрытий?
2. Как рассчитать производственную программу цеха?
3. Как определить режим работы и фонд времени работы оборудования?
4. Методы и средства анализа, и способы корректировки электролитов.
5. Тепловой режим электролитических ванн.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Предмет и задачи гальванотехники.
2. Назначение и виды электрохимических покрытий.
3. Классификация покрытий. Декоративные, защитные и специальные покрытия.
4. Способы нанесения покрытий. Преимущества и недостатки гальванического способа.
5. Перспективные направления развития гальванического производства.
6. Основные технологические этапы подготовки поверхности металлических изделий перед нанесением покрытий.
7. Методы механической подготовки поверхности изделий, их характеристика и значение. Шероховатость и методы ее определения.
8. Химическое и электрохимическое обезжиривание поверхности. Использование органических растворителей и эмульсий.
9. Ультразвуковая обработка поверхности. Кавитация.
10. Химическое и электрохимическое травление черных и цветных металлов. Основные компоненты ванн.
11. Заключительные этапы подготовки поверхности. Активирование и промывка.
12. Основные стадии процесса катодного осаждения металлов.
13. Общая характеристика фазовых превращений. Фазовые превращения в электрохимических процессах.
14. Роль микроструктуры и дефектов поверхности в процессах электрокристаллизации. Особенности процессов зародышеобразования.
15. Влияние текстуры покрытия на его физико-механические свойства. Дислокации. Эпитаксия.
16. Роль природы металла и состава раствора в кинетике электрохимического выделения металлов.
17. Факторы, определяющие величину поляризации при катодном осаждении различных металлов.
18. Природа металлического перенапряжения при выделении различных по природе металлов. Инертные и нормальные металлы.
19. Влияние режима электролиза на структуру осадка. Плотность тока, температура, перемешивание, эффект водорода.
20. Влияние природы и строения ПАВ на качество и структуру покрытий. Механизм действия. Текстурированные и поликристаллические покрытия.
21. Особенности образования блестящих осадков. Классификация блескообразователей.
22. Губчатые осадки. Особенности формирования покрытий в режиме предельного тока.

23. Назначение основных компонентов электролитических ванн для формирования качественных осадков.
24. Влияние основного компонента на структуру осадка. Простые и сложные электролиты.
25. Влияние поверхностно-активных и комплексообразующих добавок на закономерности электроосаждения металлов.
26. Влияние выделяющегося на катоде водорода на структуру и свойства электроосажденных металлов.
27. Рассеивающая способность электролитов. Первичное и вторичное распределение тока в электролите.
28. Микрорассеивающая способность электролитов. Кроющая способность электролитов. Способы получения равномерных покрытий.
29. Блестящие электролитические осадки, классификация и механизм действия блескообразующих добавок.
30. Методы контроля внешнего вида, толщины, пористости и прочности сцепления металлических покрытий.
31. Электрохимическое сплавообразование. Суммарные и парциальные поляризационные кривые.
32. Электрохимические покрытия сплавами. Условия совместного осаждения металлов.
33. Получение износостойких гальванических покрытий.
34. Составы и сравнительная характеристика электролитов хромирования.
35. Свойства покрытий железом. Получение сплава железо – углерод.
36. Условия и электролиты для получения твердых никелевых покрытий.
37. Осаждение химических и гальванических покрытий сплавом никель фосфор.
38. Антифрикционные покрытия.
39. Свойства покрытий медь – олово в зависимости от содержания олова.
40. Электролиты для осаждения бронзовых покрытий.
41. Свойства покрытий и электролиты для осаждения покрытий сплавами свинец – олово, индия и галлия.
42. Специфические свойства галлиевых покрытий.
43. Покрытия серебром и его сплавами. Гальванические покрытия электрических контактов.
44. Гальваническое золочение. Электроосаждение сплавов золота с серебром, никелем, медью.
45. Гальванические покрытия платиной, родием, иридием.
46. Гальванические покрытия под пайку. Осаждение сплавов олова: олово – свинец, олово – висмут, олово – никель.
47. Особенности гальванического покрытия цветных металлов. Технология подготовки алюминия, титана, вольфрама, молибдена и медных сплавов.

48. Баланс напряжения электролизера: основное уравнение, диаграмма распределения падения напряжений в электролизере.

49. Расчет падения напряжения в электролите с плоскими, цилиндрическими, подвижными (барабан) электрода.

50. Удельный расход электрической энергии. Энергетический баланс электролизера.

51. Классификация электролизеров по способу включения электродов: монополярные и биполярные.

52. Понятие о биполярном электроде. Электролизеры с биполярными электродами.

53. Материальный баланс электролизера с проточным электролитом.

54. Материальный баланс гальванической ванны.

55. Расчетные характеристики автоматических линий: часовая производительность, темп выдачи подвесок, количество ванн или позиций на операциях, компоновка.

## ТИПОВЫЕ ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ»

1. К проводникам второго рода относятся:
  - 1) раствор гексана в бензоле;
  - 2) раствор ацетона в воде;
  - 3) раствор хлороводорода в воде;
  - 4) раствор серы в гексане.
2. Удельная электропроводность растворов сильных электролитов при увеличении их концентрации:
  - 1) всегда возрастает;
  - 2) всегда уменьшается;
  - 3) сначала уменьшается, а затем возрастает;
  - 4) сначала возрастает, а затем уменьшается.
3. Процесс восстановления происходит на...
  - 1) аноде;
  - 2) катоде;
  - 3) цинковой пластине;
  - 4) обоих электродах.
4. Процесс окисления происходит на. . . .
  - 1) аноде;
  - 2) катоде;
  - 3) медной пластине;
  - 4) обоих электродах.
5. В электрическую в гальванических элементах превращается энергия:
  - 1) механическая;
  - 2) химическая;
  - 3) кинетическая;
  - 4) световая.
6. Гальванический элемент способен работать:
  - 1) бесконечно долго;
  - 2) несколько секунд;
  - 3) пока не расходуется вещество анода или катода;
  - 4) пока к нему подключен электрический ток.
7. Удельная электропроводность растворов сильных электролитов при увеличении их концентрации:
  - 1) всегда возрастает;
  - 2) всегда уменьшается;
  - 3) сначала уменьшается, а затем возрастает;
  - 4) сначала возрастает, а затем уменьшается.
8. Удельная электропроводность растворов электролитов по сравнению с металлическими проводниками:
  - 1) значительно выше;
  - 2) во много раз меньше;

- 3) находится примерно на одинаковом уровне;  
4) в зависимости от природы электролита может иметь как большее, так и меньшее значение.

**Задания открытого типа:**

1. К проводникам первого рода относятся \_\_\_\_\_.
2. К проводникам второго рода относятся \_\_\_\_\_.
3. Диэлектриком является \_\_\_\_\_.
4. Электропроводность – это:
5. Единицей измерения электропроводимости в системе СИ является:
6. Удельная электропроводность растворов зависит от:
7. \_\_\_\_\_ – процесс покрытия поверхности одного металла другим при помощи осаждения его из водных растворов солей под действием электрического тока (или без него).
8. Обработка, которая включает шлифование и полирование, если надо иметь гладкую поверхность; кроме того, применяют пескоструйную обработку и кварцевание для более или менее матовой поверхности – это \_\_\_\_\_.
9. Удаление с поверхности изделия оксидных пленок путем травления, остатков флюса (буры) – путем отбеливания, жировых пленок и загрязнений – путем обезжиривания – это \_\_\_\_\_.
10. Гальванический процесс нанесения на поверхность хромовых покрытий – это \_\_\_\_\_.
11. Широко применяемое защитно-декоративное покрытие как в технике, так и в художественных изделиях из металла благодаря нанесенному тонкому слою никеля называют \_\_\_\_\_.
12. \_\_\_\_\_ -процесс применяется как подслоя (вместо меди) и как самостоятельное покрытие.
13. Серебрение применяют \_\_\_\_\_.
14. Струйно-абразивная обработка изделия является \_\_\_\_\_ методом воздействия на поверхность.
15. Обработка подогревом является \_\_\_\_\_ методом воздействия на поверхность.
16. Параметр, классифицирующий степень вакуума в вакуумных установках – это: \_\_\_\_\_.
17. Диффузионный потенциал возникнет при соприкосновении \_\_\_\_\_.
18. Удельная электропроводность растворов зависит от:

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гамбург, Ю. Д. Гальванические покрытия. Справочник по применению / Ю. Гамбург. – Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2006. – 215 с.
2. Технология металлов и сплавов: учеб. пособие / отв. ред. А. П. Кушнир, В. Б. Лившиц. – Москва: Издательство Юрайт, 2022. – 310 с.
3. Адаскин, А. М. Материаловедение в машиностроении: учебник / А. М. Адаскин, Ю. Е. Седов, А. К. Онегина [и др.]. – Москва: Изд-во Юрайт, 2012. – 533 с.
4. Технология обработки материалов: учеб. пособие / В. Б. Лившиц [и др.]; ответственный редактор В.Б. Лившиц. – Москва: Изд-во Юрайт, 2022. – 381 с.
5. Рогов, В. А. Машиностроительные материалы и заготовки: учебник / В. А. Рогов, Г. Г. Позняк. – 3-е изд., испр. и доп. – Москва: Изд-во Юрайт, 2022. – 337 с.
6. Казин, В. Н. Физическая химия: учеб. пособие / В. Н. Казин, Е. М. Плисс, А. И. Русаков. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Изд-во Юрайт, 2022. – 182 с.
7. Рогов, В. А. Современные машиностроительные материалы и заготовки: учеб. пособие / В. А. Рогов, Г. Г. Позняк. – Москва: Академия, 2008. – 329 с.
8. Защита металлов / [журнал] учредители Рос. акад. наук, Ин-т физ. химии РАН. – Москва: МАИК «НАУКА/ИНТЕРПЕРИОДИКА».
9. Правдин, Ю. Ф. Документы текстовые, учебные. Общие требования к содержанию, построению и оформлению: учеб.-метод. пособие для студ., обуч. в бакалавриате по напр. подготовки 150700 - Машиностроение и спец. 151001.65 - Технология машиностроения / Ю. Ф. Правдин, В. Ф. Усынин, Т. П. Колина. – Калининград: ФГБОУ ВПО "КГТУ", 2013. – 70 с.
10. Виноградов, С. С. Организация гальванического производства. Оборудование, расчёт производства, нормирование / С. С. Виноградов; под ред. В. Н. Кудрявцева. – Москва: Глобус, 2002. – 208 с.
11. ГОСТ 23738–85. Ванны автооператорных линий для химической, электрохимической обработки поверхности и получения покрытий. Основные параметры и размеры. – Москва: Изд-во стандартов, 1985. – 19 с.
12. Состав современных профессиональных баз данных (СПБД) и информационных справочных систем (ИСС).
13. База данных Института металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова РАН [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.imet-db.ru>
14. База данных ВИНТИ РАН [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.viniti.ru>
15. Информационно-поисковая система Федерального института промышленной собственности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.fips.ru/iiss](http://www.fips.ru/iiss)
16. База данных «Химическая техника» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://chemtech.ru>.

Локальный электронный методический материал

Тамара Петровна Колина

## ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ

Редактор Е. Билко

Уч.-изд. л. 3,8. Печ. л. 3,1

Федеральное государственное  
бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Калининградский государственный технический университет»,  
236022, Калининград, Советский проспект, 1