

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию
Южно-Российский государственный технический университет
(Новочеркасский политехнический институт)**

И.Г. Бобрикова, М.С. Липкин, В.Н. Селиванов

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЁТЫ
ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ**

Учебное пособие

НОВОЧЕРКАССК 2008

УДК 621.357.74(035):621.396.69

ББК

Т38

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. Ю.Я. Герасименко,
канд. техн. наук, доц. И.Ю. Жукова

Бобрикова И.Г., Липкин М.С., Селиванов В.Н.

Т38 Технологические расчёты процессов получения электрохимических покрытий: учеб. пособие/ Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2008. – 141 с.

Приведены основные сведения по методике проектирования и основные принципы технологических расчётов процессов получения электрохимических покрытий.

Предназначено для студентов специальности 24030265 — «Технология электрохимических производств» при выполнении дипломных проектов и курсовых проектов по дисциплине «Оборудование и основы проектирования электрохимических производств».

Работа издана в соответствии с требованиями и правилами оформления текстовых документов в учебном процессе.

УДК 621.357.74(035):621.396.69

ББК

© Южно-Российский государственный
технический университет, 2008

© Бобрикова И.Г., Липкин М.С.,
Селиванов В.Н., 2008

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
1 Содержание дипломного проекта	7
2 Порядок выполнения и защиты дипломного проекта	11
3 Методические указания к разделу «Технологическая часть»	13
3.1 Методические указания к проведению расчёта оборудования	16
3.1.1 Определение фондов рабочего времени оборудования	16
3.1.2 Расчёт производственной программы	18
3.1.3 Выбор оборудования	19
3.1.4 Определение величины загрузочной или расчётной единицы	21
3.1.5 Время обработки деталей	27
3.1.6 Расчёт количества оборудования, его производительности и габаритов для покрытия деталей, завешиваемых на подвесках ..	32
3.1.7 Оборудование для покрытия мелких деталей	41
3.1.8 Расчёт полуавтоматов	51
3.1.9 Расчёт кареточного автомата	56
3.1.10 Расчёт механизированных линий	62
3.1.11 Расчёт автоматических гальванических линий с программным управлением	65
3.2 Материальный баланс гальванической линии	81
3.2.1 Расчёт расхода материалов на первоначальный пуск	81
3.2.2 Расчёт расхода анодов на выполнение программы	83
3.2.3 Расход химикатов на выполнение программы	84
3.2.4 Расход воды на выполнение производственной программы	87
3.2.5 Расход воды на промывку	89
3.2.6 Расход сжатого воздуха	92
3.3 Тепловой баланс гальванической линии	92
3.3.1 Расход теплоты на пуск гальванической линии	93
3.3.2 Расход теплоты на поддержание рабочей температуры	96
3.3.3 Расход пара	98
4 Методические указания к разделу «Электрическая часть»	100
4.1 Расчёт электрического напряжения на электролитической ванне	100
4.1.1 Расчёт разности равновесных потенциалов электродов	101

4.1.2 Расчёт перенапряжения	103
4.1.3 Падение напряжения в электролите	105
4.1.4 Падение напряжения в перфорированных стенках барабанов и колоколов	107
4.1.5 Падение напряжения в диафрагме	107
4.1.6 Падение напряжения в электродах	108
4.1.7 Падение напряжения в контактах и токоподводах	109
4.2 Выбор источника тока и его описание	110
4.3 Расчёт шин	111
4.4 Расход электроэнергии	112
Список литературы	114
Приложения	116

ВВЕДЕНИЕ

Процессы получения гальванических покрытий находят широкое применение в различных отраслях современной промышленности. Почти на каждом машиностроительном или приборостроительном предприятии имеется гальванический цех или участок. Выпуск изделий, нуждающихся в нанесении защитных и защитно-декоративных покрытий, непрерывно увеличивается. Расширяются области применения функциональных гальванических покрытий специального назначения: для повышения твёрдости, износостойчивости, жаропрочности, коррозионной стойкости и др. Одновременно повышаются требования к качеству покрытий и долговечности изделий. Повышенные требования к качеству могут быть обеспечены путём создания условий для стабилизации режимов работы гальванических ванн. Этого можно достичь, применяя современное механизированное и автоматизированное оборудование, обеспечивающее автоматическое регулирование работы ванн и контроль качества покрытий.

Обучение по специальности «Технология электрохимических производств» завершается выполнением курсового и дипломного проектов, темами которых обычно являются проектирование или реконструкция цехов или участков гальванических покрытий. В связи с этим специалистам-электрохимикам необходимы основные сведения по методике проектирования и основные принципы технологических расчётов процессов получения электрохимических покрытий.

Дипломное проектирование является заключительным этапом обучения. Цель его — систематизировать и применить теоретические знания для самостоятельного решения конкретной научно-технической задачи.

Особое внимание при выполнении проекта следует уделять внедрению новейших прогрессивных научно-технических разработок и ресурсосберегающих, экономически эффективных и экологически приемлемых технологий, комплексной автоматизации основных и вспомогательных процессов, повышению уровня техники безопасности производства.

При выполнении дипломного проекта необходимо:

- использовать новейшую научно-техническую документацию, публикации и патентные источники;

- применять наиболее рациональные ресурсосберегающие технологии, обеспечивающие получение продукции с заданными эксплуатационными свойствами;
- проектировать новые специальные технологические установки и линии, выбирать технически совершенное оборудование;
- выбрать средства, обеспечивающие оперативный контроль за ходом технологического процесса, качеством продукции и автоматического управления ими;
- предусмотреть утилизацию ценных компонентов, содержащихся в сточных водах, и их повторное использование;
- рассчитать экономическую эффективность проектируемых и внедряемых инженерных решений;
- разработать мероприятия по предотвращению производственного травматизма и профессиональных заболеваний, обеспечить охрану окружающей среды;
- использовать при расчётах современную вычислительную технику;
- разработать технологическую документацию и оформить её в соответствии с требованиями ГОСТ и ЕСКД.

Студент обязан:

- качественно и своевременно выполнять все разделы дипломного проекта в соответствии с графиком работ;
- выполнять требования, предъявляемые к дипломному проекту;
- обеспечивать правильность и обоснованность технико-экономических решений, правильность и достаточность выполненных расчётов и графической части проекта.

1 СОДЕРЖАНИЕ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА

Дипломный проект цеха или участка электролитических покрытий содержит:

- пояснительную записку (объём не более 130 – 140 страниц машинописного текста);
- до 6 чертежей на листах формата А1 (594x841 мм).

Все работы над проектом выполняются на основании задания, которое выдаётся дипломанту за месяц до начала преддипломной практики (приложение А).

Оформление пояснительной записки к дипломному проекту и чертежей производят в соответствии со стандартом предприятия «Общие требования и правила оформления текстовых документов в учебном процессе».

В качестве обязательных чертежей необходимо представить:

- план цеха с размещением основного оборудования и служб;
- схему технологического процесса;
- схемы реакций основных электродных процессов и аналитических зависимостей по теории электроосаждения металлов;
- схему монтажа основного оборудования (автоматической или механизированной линии, автомата, полуавтомата, стационарной ванны и др.);
- схему автоматизации управления технологическим процессом;
- основные технико-экономические показатели проектируемого производства.

Пояснительная записка включает разделы:

- аннотация;
- содержание;
- введение;
- аналитический обзор существующих технологических процессов нанесения гальванопокрытия заданным металлом;
- технико-экономическое обоснование целесообразности реконструкции цеха или участка;
- технологическая часть;
- электрическая часть;
- автоматизация и автоматизированные системы управления технологическим процессом;
- безопасность проектных решений;

- гражданская оборона;
- экономика и организация производства;
- заключение;
- список литературы;
- приложения.

В **аннотации** необходимо сформулировать цель работы и пути её решения, показать, разработке каких научно-технических и технологических задач посвящен дипломный проект и что оригинального в нём защищает автор.

Во **введении** обосновываются необходимость проектирования или реконструкции объекта со ссылками на директивные документы, планы НИОКР кафедры и заказчика проекта, а также важность и целесообразность темы, приводятся преимущества выбранной технологии.

Аналитический обзор самостоятельно составляется по источникам периодической печати за последние 5 лет и учебно-справочной литературе. В нём используются материалы НИРС и учебных практик проектанта. Обзор должен содержать анализ современного состояния технологического и технического обеспечения процесса нанесения заданного вида гальванопокрытия, патентный поиск за последние 5 лет (патентные исследования проводят по классу С 25, руководствуясь работой /1/). Приводится обоснование предложений об использовании в дипломном проекте новых научно-технических решений и передового инженерного опыта, их научная и техническая новизна, а также практическая полезность.

В разделе **«Технико-экономическое обоснование целесообразности реконструкции участка (цеха)»** приводится техническое и экономическое обоснование целесообразности и возможности реконструкции гальванического производства на предприятии, а также указываются преимущества предлагаемой реконструкции.

Раздел **«Технологическая часть»** включает:

- 1) объём и назначение производства;
- 2) характеристику изделий, поступающих на обработку, их габариты, форму и состояние поверхности;
- 3) условия эксплуатации или последующего хранения изделий и обоснование выбора вида и толщины покрытия;
- 4) схему технологического процесса и описание его операций;

- 5) технологию приготовления электролитов;
- 6) методы и средства анализа электролитов, способы их корректировки и очистки от вредных примесей, ресурс их работы и частоту фильтрации;
- 7) основные неполадки при осаждении гальванопокрытия, их причины и способы устранения;
- 8) способы удаления некачественных покрытий;
- 9) методы и средства контроля качества покрытий;
- 10) режим работы цеха и определение фонда времени работы оборудования;
- 11) расчёт производственной программы участка (цеха);
- 12) обоснование выбора оборудования для каждой из операций технологического процесса, расчёт его количества;
- 13) расчёт габаритов гальванической линии, ритма выхода изделий, количества автооператоров и построение циклограммы (для автоматической линии);
- 14) расчёт материального баланса электролитических и вспомогательных ванн и необходимого количества материалов на их эксплуатацию;
- 15) расчёт теплового баланса гальванической линии.

Раздел «**Электрическая часть**» включает:

- расчёт электрического напряжения на технологических ваннах;
- выбор и описание источников тока для питания электролитических ванн;
- схему электрического соединения электролизёров;
- расчёт шин;
- расчёт расхода электроэнергии.

В разделе «**Автоматизация и автоматизированные системы управления технологическим процессом**» необходимо:

- обосновать и описать, какие параметры проектируемого технологического процесса подлежат контролю;
- подобрать и обосновать тип контрольно-измерительных приборов;
- разработать и описать схему оперативного контроля и регулирования технологическим процессом (контроль и регулирование температуры, уровня, кислотности, состава электролитов и сточных вод, плотности тока и др.).

В разделе «**Безопасность проектных решений**» должны быть отражены следующие вопросы:

- характеристика опасностей и вредностей технологических процессов проектируемого объекта со ссылками на нормативные документы;
- расчёт приточно-вытяжной вентиляции на участке (в цехе);
- расчёт освещённости проектируемого объекта;
- мероприятия по обеспечению электробезопасности;
- общие мероприятия по технике безопасности и индивидуальные средства защиты, условия безопасного труда;
- очистные сооружения на заводе, их характеристика, методы очистки промывных и сточных вод проектируемого цеха с оценкой их эффективности, предложения по снижению загрязнения сточных вод вредными веществами, возможности их утилизации и извлечения ценных компонентов;
- мероприятия по безопасной работе подъёмно-транспортного оборудования;
- противопожарные мероприятия (меры предупреждения и средства пожаротушения);
- выбор средств защиты от шума и вибрации.

Раздел «**Экономика и организация производства**» включает:

- схему управления цеха (участка);
- расчёт капитальных затрат и амортизационных отчислений;
- расчёт штатов и фонда заработной платы;
- расчёт стоимости материальных и энергетических затрат;
- технико-экономические показатели цеха (участка);
- оценку экономической эффективности проектных решений.

Раздел «**Гражданская оборона**» выполняется в соответствии с индивидуальным заданием.

В **заключении** конкретно указываются новые инженерные решения, предложенные дипломантом; отражаются преимущества разработанных в проекте решений, проводится сравнение технико-экономических показателей с аналогичными показателями передовых предприятий отрасли, даются рекомендации по внедрению проектных решений.

В **приложении** приводят: акты внедрения, опытно-промышленной или лабораторной апробации; технологические инструкции или регламенты; программы расчётов на ЭВМ, спецификации и др.

2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА

Дипломный проект — это самостоятельное решение студентом инженерной задачи по избранной им специальности.

Тема дипломного проекта выдается студенту перед прохождением преддипломной практики, в основном по заданию того предприятия, на котором он будет проходить практику.

Тема дипломного проекта может быть коллективной или комплексной, то есть выполняться несколькими студентами как одной специальности, так и ряда специальностей, в зависимости от технического задания.

Для руководства работой над дипломным проектом приказом ректора назначается руководитель (руководители). По специальным разделам проекта назначаются консультанты — специалисты других кафедр. В период прохождения преддипломной практики студент обязан всесторонне изучить действующее производство, выявить его наиболее «узкие места» и при выполнении дипломного проекта, используя необходимые учебники, справочники, патентную литературу, публикации в периодической печати, результаты предыдущих практик и НИРС, разработать новые инженерные решения, провести необходимые инженерные обоснования и расчёты.

Работа над разделами проекта выполняется в соответствии с календарным планом работ, приведённым в таблице 2.1.

Таблица 2.1 — Календарный план выполнения дипломного проекта

Наименование этапов работы	Срок исполнения
1	2
1. Составление аналитического обзора существующих технологий нанесения гальванических покрытий, проведение патентных исследований	1 апреля
2. Выбор и описание технологической схемы нанесения гальванических покрытий	5 апреля
3. Расчёт оборудования для нанесения гальванопокрытий	20 апреля
4. Расчёт материального и теплового баланса основных и вспомогательных ванн	5 мая
5. Определение энергетических затрат на технологические цели	10 мая

Продолжение таблицы 2.1

1	2
6. Выбор и расчёт источников питания	12 мая
7. Разработка системы автоматического контроля и регулирования технологического процесса	16 мая
8. Выполнение раздела «Безопасность проектных решений»	18 мая
9. Проведение экономических расчётов	23 мая
10. Выполнение графической части	25 мая
11. Оформление пояснительной записки	28 мая
12. Проверка дипломного проекта руководителем, заведующим кафедрой, рецензирование	31 мая
13. Защита дипломного проекта	6 июня – 15 июня

Пояснительная записка и чертежи представляются на кафедру для утверждения заведующим кафедрой не позднее, чем за 5 дней до защиты. При положительном заключении кафедры о допуске студента к защите дипломный проект направляется кафедрой на рецензию.

3 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РАЗДЕЛУ «ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ»

Толщину гальванических покрытий выбирают по рабочим чертежам деталей, техническим условиям, другим нормативным документам или, если толщина покрытия нигде не оговаривается, то её выбирают в зависимости от назначения изделий и условий их эксплуатации по литературным источникам /2 – 5/.

Выбор технологической схемы процесса нанесения гальванического покрытия производится с учётом последних достижений в области гальванотехники на основании изучения периодической литературы и выполненных патентных исследований.

При выборе схемы технологического процесса необходимо руководствоваться следующим:

- 1) возможностью получения высокого качества покрытия при одновременном снижении себестоимости;
- 2) минимальным применением ручного труда;
- 3) стабильностью во времени процесса нанесения покрытия;
- 4) безопасными санитарно-гигиеническими условиями;
- 5) высокой производительностью труда.

Учитывая это, необходимо:

- использовать эффективные и экономичные способы подготовки поверхности деталей;
- применять высокопроизводительные, низкоконцентрированные электролиты;
- уменьшать энергоёмкость процессов, расход химикатов, материалов и воды;
- добиваться совмещения выполнения нескольких операций в одной ванне;
- предусматривать системы локальной очистки и регенерации электролитов;
- предусматривать системы очистки и регенерации промывных вод и их повторное использование.

Технологический процесс нанесения гальванопокрытия включает три группы операций:

- 1) подготовка поверхности металлов перед нанесением покрытия;

- 2) процесс нанесения покрытия;
- 3) обработка изделий после нанесения покрытия.

Общую схему технологического процесса привести трудно, так как она зависит от начального состояния поверхности покрываемых деталей, от материала, из которого они изготовлены, от вида наносимого гальванического покрытия и от требований к функциональным его свойствам. Типовая схема последовательности операций при нанесении гальванопокрытия на стальные изделия, покрытые слоем продуктов коррозии, оксидов и окалина и загрязнённые жирами и маслами, приведена на рисунке 3.1.



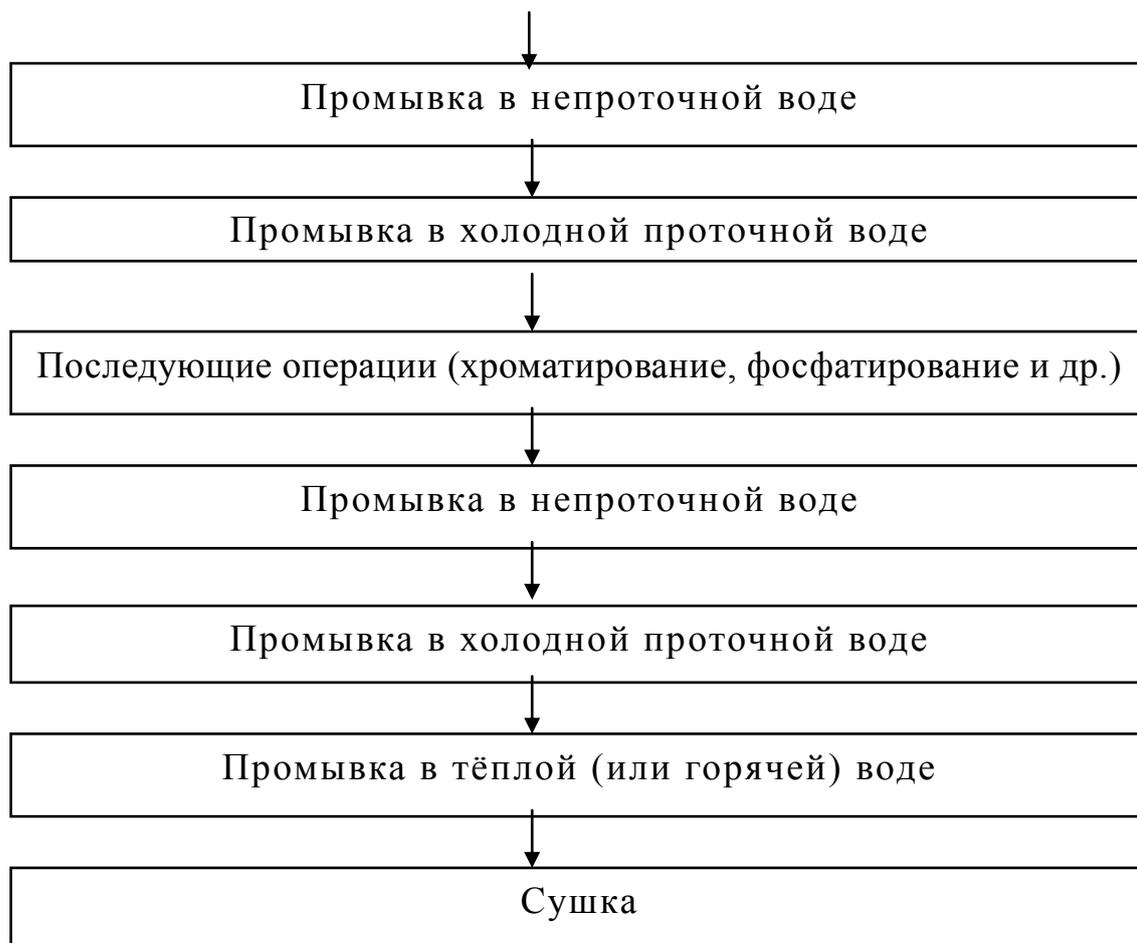


Рисунок 3.1 — Схема технологического процесса

Технологические режимы и составы растворов ванн для подготовки деталей к покрытию должны учитывать габариты и состояние поверхности изделий, подлежащих покрытию. Например, если поверхность поступающих на участок гальванопокрытий деталей не покрыта слоем окислы или продуктов коррозии, нет необходимости подвергать их травлению, достаточно изделия активировать; если материал детали способен наводороживаться, то электрохимическое обезжиривание необходимо проводить только на аноде или поочередно на катоде и на аноде.

Следует также учитывать возможность нежелательного взаимодействия какой-либо части детали с раствором электролита, то есть при необходимости изолировать отдельные части изделия, не подлежащие покрытию.

Используя работы [2 – 6], необходимо привести полное, исчерпывающее описание операций технологического процесса и представить его в виде таблицы 3.1.

Таблица 3.1 — Технологический процесс нанесения гальванопокрытия

Наименование операций	Состав раствора, г/л	рН	Температура, °С	Катодная плотность тока, А/дм ²	Время обработки, мин.

Контроль качества покрытий необходимо осуществлять в соответствии со стандартами на эксплуатационные свойства и характеристики гальванопокрытий (приложение Б, таблица Б. 1), а также используя /4, 7/.

3.1 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ПРОВЕДЕНИЮ РАСЧЁТА ОБОРУДОВАНИЯ

3.1.1 Определение фондов рабочего времени оборудования

Исходными данными, на основании которых устанавливаются фонды рабочего времени, являются: режим работы предприятия, цеха, отделения или участка и неизбежные общие годовые потери времени оборудования.

При расчётах необходимо учитывать:

- номинальный годовой фонд времени работы цеха, участка или отделения;
- действительный годовой фонд времени работы оборудования.

Режим работы, по которому устанавливается номинальный годовой фонд времени 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 5-дневной рабочей неделе: пять дней рабочих и два выходных.

В общем случае номинальный годовой фонд времени работы оборудования в часах:

$$T_0 = (365 - t_{\text{вых}} - t_{\text{пр}}) \cdot z - t_{\text{ппр}} \cdot z_1,$$

где 365 — количество суток в году;

$t_{\text{вых}}$ — количество выходных дней в году (при 5-дневной рабочей неделе 104 дня);

$t_{\text{пр}}$ — количество праздничных дней в текущем году (уточнять согласно действующему законодательству);

$t_{\text{ппр}}$ — количество предпраздничных дней в текущем году;

z — продолжительность работы оборудования за сутки, ч;

z_1 — время, на которое сокращается продолжительность работы оборудования за сутки в предпраздничные дни, ч.

При очень большой продолжительности процесса или при очень большой производственной программе и недостаточном количестве оборудования цех, отделение или участок работают непрерывно, без выходных дней. Тогда номинальный годовой фонд времени работы оборудования:

$$T_0 = 365 - t_{\text{пр}}.$$

Продолжительность рабочего дня первой и второй смен составляет 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 6-часовая рабочая смена.

Если остановка оборудования 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 6-часовым рабочим днём применяется 4-сменный режим.

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 /8/:

- 1) времени, необходимого для ремонта оборудования;
- 2) простоев оборудования вследствие невыхода рабочих по болезни и другим уважительным причинам.

При непрерывной работе цеха потери составляют 10 %.

Размер потерь времени на ремонт оборудования зависит от сложности оборудования и организации самого ремонта (таблица 3.2).

Таблица 3.2 — Средние годовые потери времени оборудования

Группа ремонтной сложности оборудования	Расчётные потери времени, % от номинального фонда, при работе		
	в одну смену	в две смены	в три смены
I	3,0	3,5	4,5
II	3,5	4,5	6,0
III	4,0	5,0	7,0

Оборудование цехов гальванопокрытий по степени его ремонтной сложности разделяют на три группы:

- 1) стационарные ванны и прочее немеханизированное оборудование;
- 2) полуавтоматы, колокольные установки, ванны с барабанами, шлифовальные и полировальные станки и т.п.;
- 3) автоматы для гальванических покрытий, травления, шлифовки и полировки.

Действительный годовой фонд времени оборудования, выраженный в часах, составляет

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

где T_d — действительный годовой фонд времени работы оборудования, сут.;

z — количество рабочих часов в сутки;

T_0 — номинальный годовой фонд времени оборудования, ч;

T_1 — общие годовые потери на простой оборудования, сут.

$$T_1 \cdot z = (0,03 \div 0,10) \cdot T_0.$$

3.1.2 Расчёт производственной программы

Производственную программу цеха устанавливают на основании сводной ведомости деталей (таблица 3.3), подлежащих покрытию.

Так как в производстве могут быть случаи исправления брака деталей (исправимый брак), то при установлении производственной программы цеха годовое задание нужно увеличить на такое количество деталей, которое подлежит переделке. Процент переделки зависит от характера процесса и условий работы цеха и принимается условно в пределах 0,5 – 3 % от программы по каждому виду покрытий /8/.

Таблица 3.3 — Сводная ведомость деталей

Наименование деталей	Характеристика деталей		Годовая программа		
	Масса, кг	Покрываемая поверхность, м ²	Количество деталей, шт	Покрываемая поверхность, м ²	Масса деталей, т

В соответствии с этим годовая производственная программа цеха:

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

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 номинальному годовому фонду времени оборудования, выраженному в сутках:

$$P_{\text{сут}} = \frac{P_{\text{год}}}{T_{\text{о}}}; T_{\text{о}}' = 365 - t_{\text{вых}} - t_{\text{пр}}.$$

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:

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

Расчёт оборудования гальванических цехов по часовой программе применяется редко, например, когда оборудование работает непрерывно, или когда расчёт всего производства ведут, исходя из определенных габаритов и величины загрузки данного оборудования.

3.1.3 Выбор оборудования

В зависимости от объёма производства, назначения и типа производимой продукции нанесение гальванопокрытий осуществляют, используя различное оборудование:

- стационарные ванны;
- барабанные и колокольные ванны для покрытия мелких деталей;
- механизированные гальванические линии;

- автоматы для нанесения гальванических покрытий;
- автоматические линии с программным управлением и автооператором тельферного (подвесного) типа;
- автоматические линии с программным управлением и автооператором порталного типа;
- автоматические линии с автооператором консольного типа.

При выборе оборудования для цехов гальванических покрытий исходят из характера и объёма задания, т. е. учитывают габариты и форму покрываемых изделий, состояние их поверхности, производственную программу, вид покрытия, способ и характер обработки деталей до и после покрытия, специальные требования задания, а также принятый в проекте технологический процесс, главным образом, продолжительность основной операции.

По габаритам большинство изделий можно разделить на две основные группы: крупные и мелкие. Крупные детали загружаются в ванны индивидуально или партиями на специальных подвесках (рамах, крючках), служащих одновременно и контактами. Мелкие детали покрывают обычно в насыпном виде: в барабанах, колоколах, корзинах. Как крупные, так и мелкие детали можно покрывать в стационарных ваннах, полуавтоматах и автоматах.

Стационарные ванны используют в основном при производственной программе, не превышающей 10 – 15 тыс. м²/год гальванопокрытий, а также для нанесения покрытий на нестандартные крупные изделия или для покрытия мелких партий деталей серебром, золотом и другими драгоценными металлами.

Мелкие изделия (болты, гайки, электрические контакты и др.) подвергаются электрохимической обработке преимущественно в колокольных или барабанных ваннах. Это обусловлено более низкой трудоёмкостью процесса, чем при монтаже изделий на подвесках.

При массовом производстве больших партий изделий используют автоматы. В зависимости от габаритов изделий и их массы применяют различные типы автоматов:

- с программным управлением;
- кареточные с вертикальными направляющими;
- рычажные с закреплённой кареткой;

– колокольные.

Автоматические линии с программным управлением применяют для покрытия изделий различной номенклатуры. Основное достоинство автоматических линий с программным управлением — быстрая переналадка на необходимый тип деталей. Тип автооператора, используемого в линии, зависит от массы подвесочных приспособлений. Для перемещения грузов массой до 100 кг применяют автооператоры консольного типа, а свыше 100 кг — тельферного или порталного типов.

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.

Проектирование автоматов целесообразно при следующих условиях:

- а) задание на большую производительность;
- б) применение интенсифицированных процессов, т.е. процессов быстрого покрытия, обезжиривания и пр.;
- в) равномерное и непрерывное поступление 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).

При выборе и расчёте оборудования рекомендуется использовать литературные источники /8 – 17/.

3.1.4 Определение величины загрузочной или расчётной единицы

Перед расчётом оборудования для электролитических и химических процессов нужно установить, что является загрузочной или расчётной еди-

ницей. Выбор загрузочной единицы и их количество, одновременно находящееся в ванне, определяется рядом факторов: типом принятого оборудования, программой и характером покрываемых деталей (габариты, геометрическая форма и рельефность) /8, 14, 17/.

Крупногабаритные или легкодеформируемые детали покрывают на подвесках. Мелкие детали покрывают насыпью в колоколах или барабанах. Интенсивность перемешивания в барабанах больше, чем в колоколах. Поэтому детали с наружной резьбой или легкодеформируемые детали следует обрабатывать в колоколах. Мелкие детали, «слипающиеся» друг с другом при вращении колокола или барабана (например, пружины, детали, легко вкладывающиеся друг в друга) следует покрывать на подвесках.

Загрузочной единицей оборудования для нанесения гальванопокрытий является приспособление с обрабатываемыми деталями. В качестве загрузочной единицы для деталей, покрываемых в подвешенном состоянии, является отдельная деталь (для крупногабаритных деталей), одна или несколько подвесок с деталями, одновременно переносимых транспортным устройством. Загрузочной единицей для покрытия деталей в насыпном виде является колокол или барабан (реже корзина).

Количество загрузочных единиц, одновременно находящихся в ванне для нанесения покрытия (или в другой ванне) составляет загрузку ванны, то есть загрузка ванны может быть равна загрузочной единице. Этот случай наиболее типичен для автоматических линий с программным управлением и отчасти для механизированных линий. Для кареточных автоматов загрузка ванны для гальванопокрытия чаще всего равна нескольким загрузочным единицам.

В зависимости от характера задания и вида покрытия при определении величины загрузочной единицы деталей могут быть два случая:

- 1) детали одинаковы или приблизительно одинаковы по форме, габаритам и площади покрываемой поверхности;
- 2) детали различны по форме, габаритам и площади поверхности.

В первом случае для крупных деталей загрузочной единицей служит одна штука или площадь поверхности одной детали. Для мелких деталей, покрываемых в насыпном виде в барабанах или колоколах, за расчётную или загрузочную единицу принимают единицу массы этих деталей — 1 кг или массу загрузки в один барабан или колокол.

В загрузочной ведомости указывается количество деталей, монтируемых на одну подвеску, или количество подвесок с деталями, соответствующее годовой или суточной программе цеха. Таким образом, загрузочной единицей для расчёта оборудования здесь является уже не деталь или изделие, а подвеска с тем или иным количеством деталей.

Количество деталей и их пространственное расположение на подвеске зависит от конфигурации и габаритных размеров деталей, вида покрытия и состава применяемого электролита. Во всех случаях детали должны быть расположены на подвесках таким образом, чтобы обеспечивалось равномерное их покрытие по всей поверхности, более полное стекание раствора с деталей и удаление образующихся газов.

При комплектовании подвесок на каждый вид покрытия желательно, чтобы покрываемая площадь поверхности деталей на подвесках была примерно одинакова. Разброс по покрываемой площади поверхности на подвеске для разных деталей не должен превышать $\pm 10 - 20$ %. В противном случае номенклатура деталей разбивается на группы, в каждой из которых соблюдается вышеуказанное требование, а группы покрывают либо партиями, либо при массовом производстве для каждой группы применяют индивидуальное оборудование. Комплектование подвесок производят обычно однотипными деталями. Так как однотипные детали по своей специфике не позволяют достаточно плотно комплектовать подвеску, то в этом случае подвески комплектуют разнотипными деталями, позволяющими более полно использовать площадь подвески. Этот приём целесообразен также при комплектовании подвесок одинаковых по покрываемой площади поверхности.

Детали располагают на подвеске в один слой, то есть завешивают с одной стороны, или в два слоя — двухстороннее завешивание. При этом один слой сдвигают относительно другого так, чтобы детали располагались в шахматном порядке. Такое расположение деталей исключает возможное экранирование. Однако двухстороннее расположение деталей на подвеске совершенно не допустимо для процессов хромирования, а также в других электролитах с низкой рассеивающей способностью, за исключением тех случаев, когда покрытие подвергается только одна сторона детали или толщина покрытия на обратной стороне не регламентируется.

Расстояние между деталями на подвеске зависит от многих факторов, в основном, от конфигурации деталей, их габаритов и состава электролита. Расстояние между плоскими деталями обычно составляет 15 – 40 мм, между деталями цилиндрической формы при нанесении защитно-декоративных покрытий — в пределах радиуса или диаметра деталей, а при хромировании — в пределах двух-трёх диаметров. Для деталей сложной конфигурации расстояние между ними обычно определяется опытным путём. Ориентировочно его можно принять как для деталей цилиндрической формы, взяв за условный диаметр толщину детали. Детали, имеющие плоскую форму, следует располагать на подвеске так, чтобы плоская часть деталей была обращена к аноду. Рёбра и острые углы на деталях не должны быть обращены к анодам. Участки поверхности деталей, не подвергающиеся покрытию, изолируют.

При химическом нанесении покрытий расстояние между деталями может быть существенно меньше, чем при нанесении электрохимических покрытий, но оно должно обеспечивать достаточную циркуляцию электролита. Детали могут комплектоваться в кассеты в несколько рядов.

Масса подвески с деталями при загрузке ванны вручную не должна превышать 8 – 10 кг. При механизированной загрузке масса подвесок не регламентируется.

Габариты подвесок зависят от количества деталей, монтируемых на подвеске, а также от конструкции подвески. Исходными данными при конструировании подвесок является площадь обрабатываемой поверхности деталей и укрупнённые нормы загрузки ванн $N_{\text{загр}}$, показывающие, какая площадь поверхности деталей должна приходиться на погонный метр электродной штанги (приложение Б, таблица Б. 2) /9/.

Укрупнённая норма загрузки зависит от вида покрытия и глубины ванны. Пользуясь этими данными, можно приблизительно определить количество деталей, обрабатываемых на одной подвеске, и единовременную загрузку гальванической ванны.

Для расчётов можно использовать данные Гипроавтопрома о средних нормах загрузки (м^2) на 1 м^2 габаритной площади подвески:

- защитные покрытия (цинкование, кадмирование, меднение, лужение и пр.)

1 – 1,2;

- защитно-декоративные покрытия (медь-никель-хром или никель-никель-хром) 0,75 – 0,9;
- анодирование и химические покрытия 2,0 – 2,4.

Если в задании указаны такие детали, которые вследствие больших размеров или массы целесообразно завешивать в ванны индивидуально (на крючках или другого рода контактных приспособлениях), то расчётной производственной единицей будет являться одна деталь.

Габаритные размеры подвесок (таблицы 3.5 и 3.6) не должны выходить за пределы, определяемые нормативной документацией. Они зависят от размеров стандартных ванн, для которых подвески предназначены /4/.

Таблица 3.5 — Размеры подвесок для автоматических линий

Глубина ванны, мм	Межэлектродное расстояние, мм	Размеры подвески, мм		
		высота	ширина	длина
1200	450	800	150	400, 600, 900, 1300
	600	800	250	400, 600, 900, 1300
1500	450	1100	150	400, 600
	600	1100	250	600, 900

При ручном обслуживании гальванических ванн размеры подвески должны быть такими, чтобы рабочий среднего роста мог легко поднимать их и переносить из одной ванны в другую /4/. Это учитывается при определении габаритов подвесок (таблица 3.6).

Таблица 3.6 — Размеры подвесок для ванн ручного обслуживания

Глубина ванны, мм	Межэлектродное расстояние, мм	Размеры подвески, мм		
		высота	ширина	длина
800	450	400	250	400, 600
	600	400	250	400
1000	450	600	150	400, 600
	600	600	250	400, 600

Оборудование для покрытия насыпью мелких деталей, неодинаковых по габаритам, массе и площади поверхности во втором случае рассчитывают так же, как и в первом, исходя из суммарной годовой или суточной программы цеха по массе или площади поверхности всех деталей. В этом

случае исходными расчётными единицами являются средняя масса и средняя площадь поверхности деталей.

Для более точного расчёта мелкие детали, имеющие сильно отличающиеся габариты, форму, массу и площадь поверхности, следует предварительно разбить на группы и подгруппы с близкой по величине удельной площадью поверхности. Ёмкость и габариты барабана, колокола и других установок определяют по наибольшей величине объёма, занимаемого деталями в насыпном виде при данной массе загрузки.

Для электрохимических процессов покрытий объём загружаемых деталей составляет примерно 25 – 35 % объёма барабана и примерно 10 – 20 % объёма колокола. При химических процессах колокола не используются, а загрузка барабанов составляет примерно 50 – 70 % их объёма.

Часто в качестве загрузочной единицы для мелких деталей принимают величину загрузки деталями одного барабана, колокола или корзины с определенной, приблизительно одинаковой площадью поверхности (и массой). В этом случае загрузочную ведомость составляют аналогично ведомости для крупных деталей. Целесообразно группировать детали по величине их загрузки в барабан, колокол или корзину, исходя из отношения поверхности каждой детали к её массе. Укрупнённые нормы загрузки ванн при обработке деталей насыпью приведены в приложении Б (таблица Б.3).

3.1.5 Время обработки деталей

Для расчёта количества оборудования, применяемого при гальванических процессах, нужно установить:

- 1) время τ , мин., необходимое для обработки деталей на данной технологической операции с учётом времени на загрузку и выгрузку;
- 2) время τ_3 , ч, на организацию и проведение первоначальной загрузки и конечной выгрузки ванн.

Время τ относится к обработке одной загрузочной единицы или одной загрузки деталей в ванне, колоколе, барабане; время τ_3 относится ко всей партии деталей, соответствующей суточной или сменной программе цеха.

Время τ складывается из двух величин:

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

где τ_1 — основное или технологическое время, то есть время на обработку деталей в ванне, колоколе, барабане или продолжительность технологического процесса на данной операции (электролитическое осаждение металлов, обезжиривание, травление и т.д.);

τ_2 — время, затрачиваемое на загрузку и выгрузку деталей при данной операции их обработки, то есть вспомогательное время, которое принимается равным от 1 до 10 мин.

Продолжительность процесса (мин.) при электролитическом осаждении металлов:

$$\tau_1 = \frac{\delta \cdot \rho \cdot 60}{j_k \cdot \mathcal{E} \cdot Vm}, \quad (3.1)$$

где δ — толщина покрытия, мкм;

ρ — плотность осаждаемого металла, г/см³;

j_k — катодная плотность тока, А/дм²;

Vm — выход металла по току, %;

\mathcal{E} — электрохимический эквивалент, г/(А·ч).

В технологическом процессе (регламенте) указываются допустимые интервалы параметров процесса, толщины покрытия, плотностей тока, выхода по току металла. В расчётах следует принимать средние величины этих параметров.

При электрохимическом нанесении сплавов их электрохимический эквивалент вычисляют, рассчитывая первоначально расход количества электричества на 1 г сплава:

$$q_{\text{спл}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\mathcal{E}_i} \cdot p_i,$$

где p_i — процентное содержание компонента в сплаве;

\mathcal{E}_i — электрохимический эквивалент компонента сплава, г/А·ч.

Затем вычисляют электрохимический эквивалент сплава:

$$\mathcal{E}_{\text{спл}} = \frac{1}{q_{\text{спл}}}.$$

Покрытие деталей насыпью в колоколах или барабанах имеет свои специфические особенности. Распределение плотности тока на деталях очень неравномерно. Детали, находящиеся внутри загруженного объёма,

экранированы и практически не покрываются. В каждый данный момент времени покрывается только поверхность деталей, расположенных снаружи. Величина этой поверхности зависит от конструкции и размеров оборудования, конфигурации и количества деталей и составляет приблизительно от 0,5 до 0,25 от площади поверхности всей загрузки. Поэтому при определении продолжительности осаждения металла τ_1 в барабанах и колоколах принимается величина средней плотности тока $j_{k(ср)}$, которая должна быть в 2 – 4 раза меньше величины максимально допустимой катодной плотности тока при обработке деталей на подвесках, указанной в режиме электролиза для данного состава электролита.

Учитывая недостаточную равномерность пересыпания деталей в барабанах и колоколах и возможное истирание покрывающего слоя с поверхности деталей, следует продолжительность электролиза τ_1 , вычисленную на основании средней плотности тока, увеличить приблизительно на 10 – 15 %. Тогда уравнение (3.1) принимает вид

$$\tau_1 = k_{уст} \cdot \frac{\delta \cdot \rho \cdot 60}{j_{k(ср)} \cdot \mathcal{E} \cdot Bm}, \quad (3.2)$$

где $j_{k(ср)}$ — средняя катодная плотность тока, $j_{k(ср)} = (0,25 \div 0,5) \cdot j_k$, А/дм²;

j_k — катодная плотность тока, выбранная из режима рецептуры для данного электролита;

$k_{уст}$ — коэффициент, учитывающий истирание покрытия ($k_{уст} = 1,1 \div 1,15$).

Продолжительность времени τ_1 для анодного оксидирования алюминия и его сплавов, а также для химических процессов (фосфатирования, оксидирования и пр.) принимают по данным технологического процесса в зависимости от природы основного металла, назначения покрытий, состава раствора, режима обработки и согласно работе /2/.

Продолжительность времени на подготовительные и заключительные операции (обезжиривание, активирование, хроматирование и др.) выбирается по типовому технологическому процессу, на основании литературных данных /2, 3, 5, 6, 17/, патентных источников или из опытных данных и зависит от характера загрязнений и природы основного металла или покрытия (в случае заключительных операций), состава растворов и режима об-

работки. Например, продолжительность обезжиривания зависит от способа и степени загрязненности деталей жирами, смазочными материалами.

Следует иметь в виду, что рекомендуемая продолжительность подготовительных и заключительных операций изменяется в довольно широких пределах. В связи с этим необходимо учитывать, что с увеличением времени обработки увеличиваются габариты оборудования, а при недостаточном времени не будет обеспечено надлежащее качество обработки поверхности.

При непостоянной степени загрязнения деталей жирами и оксидами, время проведения процессов обезжиривания и травления выбирают, ориентируясь на детали, имеющие наибольшую степень загрязненности.

Время активирования выбирают в зависимости от природы активируемого металла и состава раствора.

Продолжительность заключительных операций (осветления, хромирования и др.) зависит от состава электролита, и её выбирают исходя из режима обработки, соответствующего данной рецептуре раствора.

Время сушки покрытых деталей определяется их конфигурацией, способом сушки и конструкцией сушильного агрегата. Как правило, оно определяется опытным путём.

Продолжительность промывных операций обычно колеблется в пределах от 0,2 до 5 мин. и зависит от метода промывки и типа оборудования. Время промывки деталей в колоколах и барабанах выше, чем на подвесках.

Для автоматов с жёстким циклом, например, кареточных, время промывки равно ритму выдачи приспособления за исключением времени переноса подвесок из ванны в ванну. Для автоматических линий с программным управлением продолжительность промывки не связана с ритмом выдачи и составляет при покрытии на подвесках 20 – 60 с, а при покрытии насыпью — 30 – 90 с. Однако при построении циклограмм возникает необходимость увеличения времени промывки, например, после операции обезжиривания, после нанесения покрытия (в ванне улавливания) и на заключительных стадиях обработки. Это допустимо, поскольку не приводит к отрицательным последствиям. Продолжительность промывки непосредственно перед нанесением покрытия, то есть после травления или активирования, следует по возможности принимать минимальным во избежание окисления поверхности.

Затраты времени τ_2 на загрузку и выгрузку деталей задают в зависимости от типа оборудования и системы организации работ в цехе. Необходимо стремиться, чтобы эти затраты времени были минимальными. Наиболее рациональной является такая организация работы, при которой детали загружаются и выгружаются без перерыва 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 τ_2 увеличивается до 5 – 10 мин.

Время τ_3 на организацию и проведение первоначальной загрузки и конечной выгрузки ванн учитывается только при прерывной, некруглосуточной работе цеха в одну или две смены и 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 поверхности деталей, выполняемую непосредственно перед загрузкой первой партии в ванны покрытия (электрохимическое обезжиривание, активирование, 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 (корректировка, завешивание анодов, зачистка контактов, включение обогрева и нагрев до рабочей температуры, включение барботажа, включение выпрямительных агрегатов и т.д.).

В дальнейшем затраты времени τ_3 будем называть «время на подготовительные и заключительные операции». Условно можно принять, что минимальное время τ_3 за сутки для стационарных ванн, колоколов и барабанов равно от 30 до 50 мин.; для полуавтоматов — продолжительности одного цикла прохождения деталей в полуавтомате, определяемой технологическим расчётом с учётом времени на подготовку первой и обработку последней партии подвесок, равного 30 – 50 мин.; для автоматов — продолжительности полного цикла прохождения деталей в автомате.

Время τ_3 в процентах от времени работы цеха за сутки для стационарных ванн, колоколов и барабанов составляет: при работе цеха в одну смену — 6 – 10 %, в две смены — 3 – 5 %, в три смены — 2 – 4 %.

Если по условиям производства при смене рабочих требуется остановка стационарного оборудования, то время τ_3 при двухсменной работе должно быть увеличено в два раза, а при трёхсменной работе — в три раза, то есть 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 τ_3 будет значительно меньше.

Если продолжительность электролиза τ_1 более 1 ч или обеденный перерыв проводится по скользящему графику и останавливать работу оборудования на время этого перерыва не нужно, то время τ_3 при расчёте оборудования не учитывают, считая, что оно компенсируется временем обеденного перерыва, в течение которого гальванические ванны, полуавтоматы или автоматы продолжают работать.

При расчёте гальванического оборудования время τ_3 нужно вычесть из фонда времени оборудования ($T_d \cdot z$), так как в противном случае количество единиц оборудования будет занижено. Время τ_3 удобнее выражать коэффициентом k , учитывая его в формулах расчёта величины загрузки или количества единиц оборудования. Коэффициент k при работе цеха в одну смену будет равен 1,06 – 1,1, при работе цеха в две смены — 1,03 – 1,05, а при работе в три смены — 1,02 – 1,04.

3.1.6 Расчёт количества оборудования, его производительности и габаритов для покрытия деталей, завешиваемых на подвесках

Расчёт количества оборудования при 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 небольшой продолжительности процесса нанесения покрытия или при непрерывной круглосуточной работе оборудования (без выходных дней) расчёт нужно вести исходя из годовой программы. При очень большой продолжительности процесса расчёт целесообразно вести по суточной программе.

В основу расчётов входят:

- 1) время обработки деталей τ ;
- 2) фонд времени работы оборудования ($T_d \cdot z$).

Определение этих величин должно предшествовать расчёту ванн и выполняется, как указано в подразделе 3.1.5.

Расчёт оборудования, устанавливаемого в гальваническом цехе, начинают с расчёта ванн для нанесения покрытия и для каждой группы и подгруппы деталей его производят отдельно. Форма расчёта определяется типом выбранного оборудования и для каждого из них имеет свои особенности.

3.1.6.1. Расчёт стационарных ванн для покрытия деталей на подвесках можно производить двумя способами.

По первому способу вначале, пользуясь рекомендациями, приведёнными в подразделе 3.1.4, устанавливают загрузочную единицу и значение единовременной загрузки ванны, то есть производят комплектование деталей на подвески и составляют загрузочную ведомость, форма которой приведена в таблице 3.4. Затем определяют количество ванн и их габариты. Исходя из рассчитанных габаритов, по ГОСТу /18/ принимают стандартные размеры ванн (приложение В, таблица В. 1). При этом габариты выбранной ванны должны быть не меньше расчётных. Если выбранные по стандартам габариты намного отличаются от расчётных, то по возможности пересматривают значение единовременной загрузки ванны.

Комплектование деталей на подвески следует производить так, чтобы площадь покрываемых деталей на подвесках для каждого наименования деталей была примерно одинаковой. Отклонение не должно превышать $\pm 10\%$.

Этот способ приемлем при расчёте стационарных ванн для покрытия крупногабаритных деталей, то есть тогда, когда загрузочной единицей является отдельная деталь или в крупносерийном производстве с неизменной номенклатурой деталей.

Методика расчёта по первому способу следующая:

1. Время обработки (покрытия) одной загрузочной единицы (детали или подвески с деталями) $\tau = \tau_1 + \tau_2$, мин., определяют, как указано в подразделе 3.1.5.

2. Суммарное время τ_c , ч, необходимое для обработки (покрытия) годового количества загрузочных единиц, равно

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

где $P_{\text{год}}^{\text{под}}$ — годовая производственная программа цеха в штуках загрузочных единиц (подвесок с деталями или деталей), которая рассчитывается на основании укрупнённых или средних норм загрузки ванн $N_{\text{загр}}$ (приложение Б, таблица Б. 2) или, исходя из заводских данных о площади поверхности деталей на одной подвеске $S_{\text{под}}$, по формуле

$$P_{\text{год}}^{\text{под}} = \frac{P_{\text{год}}}{S_{\text{под}}}.$$

3. Количество подвесок с деталями или деталей, загружаемых одновременно во все ванны:

$$Y_{\text{п}} = \frac{\tau_c}{T_{\text{д}} \cdot z - T_{\text{о}} \cdot \tau_3} \approx \frac{\tau_c \cdot k}{T_{\text{д}} \cdot z},$$

где $T_{\text{д}} \cdot z$ — действительный годовой фонд времени работы оборудования, ч;

$T_{\text{о}} \cdot \tau_3$ — суммарное время на подготовительные и заключительные операции, ч;

k — коэффициент, учитывающий время на подготовительные и заключительные операции.

Время τ_3 на подготовительные и заключительные операции принимают, как указано в подразделе 3.1.5.

Если расчётная величина $Y_{\text{п}}$ выражается дробным числом, то необходимо округлить её до целого числа в большую сторону.

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 :

$$n = \frac{Y_{\text{п}}}{Y}.$$

Величина загрузки для одной ванны Y выбирается в зависимости от размеров подвесок с деталями или деталей (если они очень крупные), плотности тока, конструктивных особенностей оборудования. Подвески с

детальями или детали можно загрузить в ванну на одну или на две катодные штанги. Катодная штанга с заданным количеством подвесок или крупногабаритных деталей является загрузочным приспособлением, которое переносится автооператором или другим транспортным устройством.

Если расчётная величина n оказывается дробным числом, то его округляют до целого в большую сторону.

5. Годовая производительность оборудования:

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

где Y — величина загрузки, принятая для одной ванны;

n — количество ванн, устанавливаемых в цехе.

Зная производительность оборудования, можно определить коэффициент загрузки оборудования $K_{\text{загр}}$, который представляет собой отношение установленной производственной программы цеха (по количеству или площади поверхности деталей) к рассчитанной производительности оборудования:

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

Второй способ расчёта используют при большой производственной программе цеха и в том случае, если габариты и ёмкость ванн по загрузке заранее известны, т.е. имеются чертежи или готовое оборудование. В случае небольшой производственной программы цеха в результате расчёта может оказаться, что при выбранных габаритах оборудования процент загрузки его незначителен, и тогда потребуется пересчёт на другой размер оборудования.

При расчёте количества ванн по второму способу загрузочной или расчётной единицей является загрузка деталями одной ванны, колокола или барабана заданных габаритов и ёмкости. При этом время обработки всех загрузок τ_c принимается равным произведению времени обработки деталей τ на годовое число загрузок $X_{\text{год}}$.

Методика расчёта количества и производительности ванн по второму способу следующая:

1. Величина загрузки одной ванны Y принимается в соответствии с существующими размерами ванн и габаритами деталей или подвесок с де-

талями по заводским данным. Габариты и ёмкость ванн выбираются по чертежам стандартного оборудования, имеющегося в реконструируемом цехе.

2. Количество загрузок в год $x_{\text{год}}$ определяется как отношение годовой программы цеха к величине загрузки единицы оборудования (ванны, колокола, барабана):

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

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

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

3. Время, необходимое для обработки (покрытия) одной загрузки $\tau = \tau_1 + \tau_2$, мин., определяется, как указано в подразделе 3.1.5.

4. Суммарное время, ч, необходимое для обработки годового количества загрузок, равно

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

5. Количество ванн определяется по формуле

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

где $T_d \cdot z$ — годовой (действительный) фонд времени оборудования, ч;

k — коэффициент, учитывающий время τ_3 на подготовительные и заключительные операции.

Если расчётная величина n выражается дробным числом, то его округляют до целого числа в большую сторону. Если число основных ванн получается более шести, то целесообразно увеличить загрузку загрузочного приспособления.

6. Годовая производительность ванн:

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

где Y — величина загрузки, принятая для одной ванны;

n — принятое количество ванн.

7. Коэффициент загрузки оборудования:

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

Примеры расчёта стационарных ванн для покрытия деталей на подвесках по первому и второму способам приведены в работах /8, 14/.

3.1.6.2. Расчёт внутренних габаритов ванн для покрытия деталей на подвесках или крюках (при очень больших размерах деталей) производят на основании принятого количества и размеров подвесок с деталями или размеров деталей, загружаемых в данную ванну. При расчётах необходимо использовать заводские данные о размерах подвесок (или деталей) на реконструируемом участке нанесения гальванического покрытия или размеры подвесок, сконструированных на основании рекомендаций, приведённых в подразделе 3.1.4.

Внутренняя длина ванны:

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

где l_1 — размер подвески с деталями или детали по длине ванны, мм;

l_2 — расстояние между подвесками или деталями в ванне,
 $l_2 = 30 - 100$ мм;

l_3 — расстояние между торцевой стенкой ванны и краем подвески или детали ($l_3 = 100 - 150$ мм, а для ванн с неизолированной внутренней поверхностью металлических стенок $l_3 = 150$ мм и больше);

n_1 — количество подвесок или деталей, устанавливаемых в один ряд (или на одну штангу) по длине ванны.

Внутренняя ширина ванны:

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

где ω_1 — размер подвески или детали по ширине ванны; если в ванну загружаются различные по габаритам детали, то величина ω_1 должна соответствовать детали, имеющей наибольший размер по ширине ванны, мм;

ω_2 — расстояние между анодом и ближайшим краем деталей, мм; величина ω_2 зависит от системы навешивания и конфигурации детали и увеличивается для рельефных деталей: для деталей, имеющих правильную форму (плоских, цилиндрических небольшого диаметра), ω_2 принимают в пределах 100 – 150 мм, а для рельефных деталей сложной формы ω_2 берут в пределах 150 – 200 мм;

ω_3 — расстояние между внутренней стенкой продольного борта ванны и анодом (50 – 100 мм, а 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 $n_3 = n_2 + 1$);

$\delta_{\text{анод}}$ — толщина анода, мм.

Внутренняя высота ванны без бортовой вентиляции:

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

где h_3 — высота уровня электролита, мм;

h_1 — высота подвески или деталей без подвешивающего крюка, мм;

h_2 — расстояние от дна ванны до нижнего края подвески или деталей, мм; 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 принимают в пределах 150 – 300 мм;

h_3 — расстояние от верхнего края подвески или детали до поверхности электролита (20 – 50 мм);

h_6 — расстояние от поверхности электролита до верхнего края бортов ванны (бортовая вентиляция здесь не учитывается), мм; для ванны, работающей без перемешивания сжатым воздухом, h_6 принимают в пределах 100 – 150 мм, а для ванны с перемешиванием — 150 – 250 мм.

Руководствуясь рассчитанными внутренними габаритами, по ГОСТу /18/ выбирают типоразмер ванны (приложение В, таблица В. 1), обеспечивающей рассчитанную производительность при установленном значении загрузки.

Габаритные размеры ванн для химической обработки рассчитывают аналогично ваннам для электрохимической обработки за исключением внутренней ширины, которую определяют по формуле

$$\omega_{\text{вн}} = n_4 \cdot \omega_1 + (n_4 - 1) \cdot \omega_4 + 2 \cdot \omega_5,$$

где n_4 — количество штанг;

ω_1 — размер подвески с деталями по ширине ванны, мм;

ω_4 — расстояние между двумя подвесками по ширине ванны, мм;

ω_5 — расстояние от края подвески до продольного борта ванны, мм.

3.1.6.3. Наружные размеры ванны без учёта выступающих элементов коммуникаций (змеевиков, барботёров, сливных патрубков и т.д.), то есть размеры ванн, которые обычно наносят на плане участка (цеха), складываются из соответствующих внутренних её размеров, толщины стенок и дна, толщины футеровки, размеров отбортовки, наличия переливных карманов.

При наличии внешних переливных карманов (ванны обезжиривания и промывки) размер ванны увеличивают примерно на 80 – 100 мм. Ширина отбортовки $\delta_{отб}$ составляет 50 – 80 мм. При теплоизоляции ванны эти размеры обычно не увеличивают, так как теплоизоляция не выступает за пределы отбортовки.

Наружная длина ванны:

$$l_{внеш} = l_{вн} + 2 \cdot \delta_{ст} + 2 \cdot \delta_{фут} + 2 \cdot \delta_{отб},$$

где $\delta_{ст}$ — толщина стенки ванны, мм;

$\delta_{фут}$ — толщина футеровки ванны, мм;

$\delta_{отб}$ — ширина отбортовки, мм.

Наружная ширина ванны:

$$\omega_{внеш} = \omega_{вн} + 2 \cdot \delta_{ст} + 2 \cdot \delta_{фут} + 2 \cdot \delta_{отб}.$$

Наружная высота ванны:

$$h_{внеш} = h_{вн} + \delta_{ст} + \delta_{фут}.$$

Толщина стенок $\delta_{ст}$ зависит от материала ванны, габаритов и конструктивных её особенностей (система крепления, способ нагревания, например с "рубашкой" или без неё). В качестве материалов для изготовления корпусов ванн применяют углеродистую сталь, коррозионно-стойкую сталь, титан и полипропилен. Наиболее распространённым материалом является углеродистая сталь. Толщина стального листа для ванн объёмом менее 600 л не менее 5 мм, а для ванн объёмом 600 л и более — не менее 7 мм /9/.

Материал футеровки выбирается в зависимости от агрессивности раствора, его температуры, размеров ванны и других эксплуатационных условий. Для футеровки применяют пластмассовые, металлические материалы, резину или керамические плитки.

Наиболее распространенный футеровочный материал — листовой *винипласт*. Он стоек практически во всех растворах электролитов, применяемых в гальванотехнике. Температурный интервал применения винипласта от 0 до 60 °С. При температуре ниже нуля возрастает его хрупкость, а при температуре выше 60 °С он размягчается /9/.

Перспективен для футеровки практически всех гальванических ванн *пластикат* ПХ–2. Он обладает высокой химической стойкостью при температурах до 90 °С.

Удовлетворительной механической прочностью, высоким сопротивлением ударным нагрузкам, повышенной пластичностью, инертностью к большинству химических реагентов обладает *полипропилен*. По термостойкости и химической стойкости полипропилен уступает только фторопласту и пентапласту.

Толщина футеровки $\delta_{\text{фут}}$ из винипласта и полипропилена составляет 5 – 7 мм, а из пластиката — 2 мм.

В весьма агрессивных средах при температурах до 120 °С можно использовать *пентапласт*. Для футеровки используют листы пентапласта толщиной 2 – 4 мм.

Из металлических футеровочных материалов для защиты ванн применяют *листовой свинец* марок С1 или С2. Свинцом футеруют ванны хромирования, электрополирования и анодирования алюминия. В настоящее время из-за недостаточной стойкости свинца при эксплуатации электролитов хромирования и их загрязнения соединениями свинца свинцовую футеровку заменяют на пластикат или полипропилен.

3.1.6.4. Объём электролита в ваннах равен

$$V_{\text{эл}} = V_1 - V_2,$$

где V_1 — объём электролита вместе с деталями и анодами, вешиваемыми в ванну ($V_1 = l_{\text{вн}} \cdot \omega_{\text{вн}} \cdot h_3$), дм³ или л;

V_2 — объём металла деталей и анодов, дм³. Этим объёмом обычно пренебрегают.

3.1.6.5. Расчёт площади поверхности загрузки и силы тока на ваннах производится следующим образом. Площадь поверхности загрузки складывается из двух величин: рабочей площади поверхности, то есть площади поверхности деталей, и нерабочей площади поверхности, то

есть площади поверхности подвесных приспособлений в неизолированной части. Следует стремиться к тому, чтобы нерабочая площадь поверхности была минимальной, так как она вызывает бесполезный частичный расход тока, потери осаждаемого металла и загрязнение электролита металлическими наростами, осыпающимися с подвесок. При хорошей изоляции подвесок неизолированными остаются только контакты (крючки, прищепки, шпильки, пружины и т. п.), с помощью которых к деталям подводится ток. Площадь поверхности контактов составляет 3 – 5 % от рабочей площади поверхности. Таким образом, суммарная площадь поверхности загрузки для одной ванны:

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

где S_1 — рабочая площадь поверхности деталей на одной подвеске, дм^2 ;

S_2 — площадь поверхности неизолированной части подвески, дм^2 ;

$$S_2 = (0,03 \div 0,05) \cdot S_1;$$

Y — количество подвесок с деталями в одной ванне.

Суммарная площадь поверхности S_{Π} одновременной загрузки всех ванн соответственно установленной их производительности будет равна

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

Сила тока определяется по следующим 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 — катодная плотность тока, А/дм^2 ;

n — количество электролитических ванн.

3.1.7 Оборудование для покрытия мелких деталей

Расчёт количества барабанов, колоколов или другого оборудования для нанесения покрытия на мелкие детали производится любым из способов, рассмотренных в подразделе 3.1.6 при расчёте стационарных ванн, загружаемых деталями на подвесках.

По первому способу задаются определенной загрузкой, на основании которой определяют размеры барабанов или колоколов. По второму способу задаются размерами колокола или барабана и в соответствии с этим ус-

танавливают единовременную загрузку. Для электрохимических процессов загрузку принимают постоянной по площади покрываемых деталей, для химических процессов — по массе и реже — по площади. Ход расчёта по обоим способам аналогичен приведённому в подразделе 3.1.6.1.

В случае большой производственной программы и установки барабанов или колоколов определённых габаритов и ёмкости расчёт их количества удобнее вести, исходя из годовой программы.

Расчёты времени обработки деталей ($\tau = \tau_1 + \tau_2$ и τ_c) и количества единиц оборудования производятся так же, как при расчёте ванн, загружаемых деталями на подвесках. Однако необходимо учитывать ряд особенностей при расчёте времени обработки τ_1 для деталей, покрываемых в насыпном виде (в барабане, колоколе и т.п.), которые приведены в подразделе 3.1.5. Величину времени на загрузку – выгрузку изделий принимают равной 3 – 6 мин.

Величину одновременной загрузки одной ванны Y и всех ванн $Y_{\text{п}}$ в отличие от предыдущих расчётов в данном случае удобнее выражать в массовых единицах (кг). Масса деталей, загружаемых в барабан, при механизированном переносе ограничивается прочностными характеристиками барабана и, как правило, не превышает 30 – 50 кг, при переносе вручную масса деталей вместе с барабаном должна быть не более 10 кг. Масса деталей, загружаемых в колокол, обычно не превышает 15 – 20 кг. Единовременная загрузка устанавливается по нормативным данным, практическим данным завода или расчётным путём.

При расчёте суммарной площади поверхности загрузки определяют площадь поверхности всех деталей, загруженных в барабан или колокол для нанесения покрытия, и площадь поверхности всех неизолированных контактов, подводящих ток к деталям. Площадь поверхности загрузки одного барабана или колокола:

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

где Y — величина загрузки деталей в один барабан или колокол, кг;

S_1 — площадь поверхности одного кг деталей, дм^2 ;

S_2 — площадь поверхности контактов в одном барабане или колоколе, дм^2 . Она составляет от 3 до 5 % от рабочей площади поверхности деталей в барабане или колоколе $S_2 = (0,03 \div 0,05) \cdot S_1 \cdot Y$.

Суммарная площадь поверхности загрузки всего количества единиц оборудования одного вида:

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

Сила тока на один барабан или колокол

$$I_y = S_y \cdot j_{k(ср)},$$

а на всё оборудование одного вида

$$I_{\Pi} = S_{\Pi} \cdot j_{k(ср)} = I_y \cdot n,$$

где $j_{k(ср)}$ — средняя катодная плотность тока, А/дм², которая составляет 0,25 – 0,5 от катодной плотности тока, выбранной из режима электролиза, рекомендуемого для принятого электролита.

3.1.7.1. Расчёт габаритов барабана производят с учётом того, что во избежание потерь тока, обрастания контактов покрывающим металлом (ось барабана, втулки осей, подшипники и пр.) цилиндрические барабаны следует погружать в электролит на 1/3 – 2/5 их диаметра, а шестигранные на 1/3 – 2/5 диаметра вписанной окружности /8, 17/.

В промышленности используются преимущественно шестигранные барабаны. Для установления габаритов барабана нужно задаться его длиной и определить экспериментальным путём или приблизительным расчётом объём V'' , занимаемый деталями.

Расчёт габаритов барабана осуществляется в следующей последовательности.

1. На основании выбранной величины загрузки в один барабан Y , дм³, вычисляют объём металла покрываемых деталей:

$$V' = \frac{Y}{\rho},$$

где Y — масса деталей, загружаемых в один барабан, кг;

ρ — плотность покрываемого металла, кг/дм³.

2. Объём, занимаемый деталями в насыпном виде:

$$V'' = (3 \div 10) \cdot V'.$$

Этот объём зависит от размеров, конфигурации и массы покрываемых деталей. Для мелких плоских деталей, мелкого крепежа и т.п. насыпной объём примерно равен трёх-, четырёхкратному объёму металла; для деталей, имеющих пустоты, а также рельефных деталей насыпной объём ближе к десятикратному объёму металла.

3. Внутренние размеры барабана (диаметр и длину) определяют, приняв величину загрузки барабана деталями по высоте их укладки на одной из плоских граней барабана. По высоте укладки деталей на плоской грани барабаны загружаются на $1/6 - 1/4$ диаметра вписанной окружности в зависимости от конфигурации и величины деталей и конструкции барабана. Условно примем, что высота укладки деталей равна $1/6$ внутреннего диаметра барабана, то есть $1/3$ радиуса вписанной в шестигранник окружности:

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

где OK — радиус вписанной окружности (рисунок 3.2).

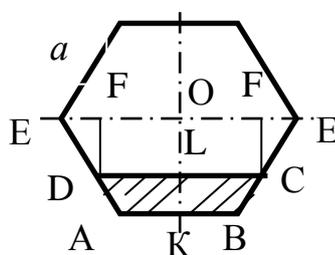


Рисунок 3.2 — Эскиз шестигранного барабана

Радиус вписанной в шестигранник окружности

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

где a — сторона шестиугольника.

Тогда высота укладки деталей равна

$$KL = \frac{a \cdot \sqrt{3}}{6}.$$

Для определения внутреннего и наружного диаметров барабана (то есть диаметров вписанной и описанной окружностей) нужно задаться его внутренней длиной l и рассчитать площадь трапеции $ABCD$.

Площадь трапеции $ABCD$:

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

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

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

Следовательно, площадь трапеции ABCD:

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

Тогда объём, занимаемый деталями по контуру ABCD, равен

$$V'' = l \cdot S_{\text{тр}} = l \cdot \frac{7 \cdot a^2 \cdot \sqrt{3}}{36},$$

где l — внутренняя длина барабана.

Отсюда сторона шестигранного барабана:

$$a = \sqrt{\frac{V'' \cdot 36}{l \cdot 7 \cdot \sqrt{3}}}.$$

Внутреннюю длину барабана в зависимости от его загрузки условно принимают от 5 до 10 дм. Причём, чем больше загрузка, тем больше должна быть длина барабана.

Определяют внутренний диаметр барабана:

$$D_{\text{вн}} = 2 \cdot OK = a\sqrt{3}.$$

Затем уточняют внутреннюю длину барабана:

$$l = (2 \div 3) \cdot D_{\text{вн}}.$$

4. Наружные размеры барабана определяются его конструкцией (толщиной стенок, размерами опорной подвески, габаритами и расположением механизма вращения и т.д.).

Наружный диаметр барабана:

$$D_{\text{нар}} = 2 \cdot a + 2 \cdot m,$$

где m — толщина стенок и угольников барабана, которая зависит от конструкции и материала барабана и составляет от 15 до 20 мм.

Наружная длина барабана $l_{\text{бар}}$ также зависит от его конструкции и материала. Обычно наружный размер барабана по длине увеличивают на 100 – 200 мм по сравнению с внутренним размером:

$$l_{\text{бар}} = l + (100 \div 200).$$

3.1.7.2. Габариты ванны для барабана определяются прежде всего размерами самого барабана, а также конструкцией и системой крепления его на ванне.

Внутренняя длина ванны

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

где $l_{\text{бар}}$ — наружная длина барабана, мм;

l_3 — зазор между торцами барабана и внутренней поверхностью стенки ванны (с каждой стороны), мм; в зависимости от конструкции барабана величина $l_3 = 100 \div 200$ мм.

Ширина ванны (для одного барабана):

$$\omega_{\text{вн}} = D_{\text{нар}} + 2 \cdot \omega_2 + 2 \cdot \omega_3 + 2 \cdot \delta_{\text{анод}},$$

где $D_{\text{нар}}$ — наружный диаметр барабана, мм;

ω_2 — расстояние между анодом и ближайшим краем барабана (100 – 200 мм);

ω_3 — расстояние между анодом и продольной стенкой ванны (50 – 100 мм);

$\delta_{\text{анод}}$ — толщина анода, мм.

Высота ванны

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

где h_3 — высота уровня электролита, мм;

h_1 — глубина погружения барабана в электролит по наружному диаметру, мм; $h_1 = 1/3 \cdot D_{\text{вн}} + (D_{\text{нар}} - D_{\text{вн}})/2$;

h_2 — расстояние от дна ванны до нижнего края барабана (150 – 300 мм);

h_6 — расстояние от верхнего уровня (зеркала) электролита до верхнего края бортов ванны (200 – 300 мм).

Примеры расчёта габаритов барабана и ванны для него приведены в работах /8, 14/.

Руководствуясь рассчитанными внутренними габаритами, по ГОСТу /18/ выбирают типоразмер ванны (приложение В, таблица В. 1), обеспечивающей рассчитанную производительность при установленном значении загрузки.

Наружные размеры ванны и объём электролита в ней определяются аналогично тому, как было указано в подразделе 3.1.6 при расчёте стационарных ванн, загружаемых деталями на подвесках.

Размеры и конструкция барабана должны быть такими, 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, для предотвращения излишнего расхода металла анодов и непроизводительной траты электроэнергии;
- 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 (границы шестигранника) возможно большего диаметра.

Скорость вращения барабана при покрытии изделий цинком, кадмием, медью и другими сравнительно мягкими металлами в зависимости от массы деталей выбирают в пределах от 3 до 5 об/мин. Для этих видов покрытий не следует превышать указанную скорость, так как это может привести к истиранию покрываемого металла (при галтовке) и уменьшению толщины покрытия. Для никелирования можно брать скорость вращения барабана от 7 до 10 об/мин.

3.1.7.3. Расчёт количества колоколов и колокольных установок при заданных их размерах или заданной загрузке одного колокола аналогичен расчёту количества барабанов.

3.1.7.4. Расчёт размеров колоколов производят исходя из объёма, занимаемого деталями, соответственно принятой величине загрузки Y для одного колокола.

1. На основании выбранной величины загрузки в один колокол Y , аналогично расчёту, приведённому в подразделе 3.1.7.1, вычисляют объём, дм^3 , металла покрываемых деталей:

$$V' = \frac{Y}{\rho},$$

где Y — масса деталей, загружаемых в один колокол, кг;

ρ — плотность покрываемого металла, кг/дм³.

2. Объём, занимаемый деталями в насыпном виде, можно определить экспериментально по насыпной массе или принять его, как указано выше, равным 3 – 10-кратному объёму металла в изделиях /8, 17/:

$$V'' = (3 \div 10) \cdot V'.$$

3. Объём электролита $V_{эл}$ вместе с объёмом, занимаемым деталями, должен быть приблизительно равен 3 – 6-кратному объёму, занимаемому деталями (в зависимости от величины насыпной массы или конфигурации деталей), то есть

$$V_{эл} = (3 \div 6) \cdot V''.$$

При этом меньшее значение выбирается для мелких или плоских деталей с плотной их упаковкой в насыпном виде, а для более крупных и рельефных деталей в расчёте принимается большее значение.

3. Объём одного колокола $V_{кол}$ в зависимости от соотношения диаметров дна и верхнего отверстия, а также угла его наклона к плоскости пола принимают равным 1,5 – 2-кратному объёму электролита, то есть

$$V_{кол} = (1,5 \div 2) \cdot V_{эл}.$$

При выборе размеров и конструкции колокола следует руководствоваться теми же требованиями, которые предъявляются к барабанам.

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

4. Внутренние размеры колокола определяются его объёмом и принятой геометрической формой:

а) объём колокола в виде усечённого конуса

$$V = (R^2 + r^2 + R \cdot r) \cdot \frac{\pi \cdot h}{3},$$

где R — радиус основания конуса (дна колокола), дм;

r — радиус верхнего отверстия колокола, дм;

h — высота колокола (конуса), дм;

б) объём колокола в виде усечённой многогранной пирамиды

$$V = \frac{1}{3} \cdot h \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot n \cdot \sin \frac{360^\circ}{n} \cdot (R^2 + r^2) + \sqrt{\frac{1}{2} \cdot n \cdot \sin \frac{360^\circ}{n} (R^2 + r^2)} \right),$$

где R — радиус описанной окружности многогранника, лежащего в основании колокола, дм;

r — радиус описанной окружности многоугольника верхней части колокола, дм;

h — высота колокола, дм;

n — число граней колокола;

в) объём колокола в виде двух усечённых пирамид с общим основанием (радиусы описанных окружностей верхней части и дна колокола принимают одинаковыми и равными r)

$$V = \frac{1}{3}H \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot n \cdot \sin \frac{360^\circ}{n} \cdot (R^2 + r^2) + \sqrt{\frac{1}{2} \cdot n \cdot \sin \frac{360^\circ}{n} \cdot (R^2 + r^2)} \right),$$

где H — высота колокола, дм, $H = h_1 + h_2$, т. е. сумма высоты верхней h_1 и высоты нижней h_2 усечённых пирамид, соответственно;

R — радиус описанной окружности многоугольника, являющегося основанием пирамид, дм;

n — число граней колокола.

Уравнения для расчёта внутренних размеров колокола содержат три неизвестные величины R , r и h или H . Для соблюдения соотношений между этими величинами обычно на практике принимают $r = (0,7 \div 0,8) \cdot R$; а h или $H = (2,0 \div 2,5) \cdot R$.

5. Наружные размеры колокола зависят от его внутренних размеров и толщины стенок (включая профиль жёсткости), которые составляют примерно 20 – 30 мм.

3.1.7.5. Размеры колокольных ванн определяются габаритами колоколов.

Внутренняя длина колокольной ванны

$$l_{\text{вн}} = h + l_1 + l_2,$$

где h — высота колокола, мм;

l_1 — расстояние от дна колокола при его горизонтальном расположении до плоскости торцевой стенки ванны, мм;

l_2 — расстояние от верхней части колокола при его горизонтальном расположении до плоскости торцевой стенки ванны, мм.

Расстояния l_1 и l_2 зависят от габаритов колокола, от его поворотной конструкции, точнее от радиуса поворота R' , и угла наклона φ оси колокола к горизонтальной плоскости. Для расчётов расстояние l_1 принимают приблизительно равным 100 – 150 мм, а $l_2 = 250 – 400$ мм.

Внутренняя ширина ванны

$$w_{\text{вн}} = 2 \cdot R \cdot n_1 + 2 \cdot n_1 \cdot w_1 + 2 \cdot w_2 + (n_1 + 1) \cdot \delta_{\text{анод}},$$

где R — наибольший габаритный радиус описанной окружности колокола (с учетом ребер жёсткости), мм;

n_1 — количество одновременно загруженных колоколов;

w_1 — расстояние между анодом и ближайшим краем колокола, мм;

w_2 — расстояние между анодом и стенкой ванны, мм;

$\delta_{\text{анод}}$ — толщина анода, мм.

При расчёте ширины ванны расстояние между колоколом и анодом принимают равным 100 – 200 мм, а расстояние между анодом и стенкой ванны — 30 – 50 мм.

Внутренняя высота ванны

$$h_{\text{вн}} = h_1 + h_2 + h_3 = h \cdot \sin\varphi + h_2 + h_3,$$

где h_1 — глубина погружения колокола, мм;

h_2 — расстояние от нижнего края колокола до дна ванны, мм;

h_3 — расстояние от зеркала электролита до верхнего края борта ванны, мм;

h — высота колокола, мм;

φ — угол наклона оси колокола к горизонтальной плоскости.

В расчётах принимают $h_2 = 250 – 300$ мм, а $h_3 = 200 – 250$ мм. Угол наклона φ оси колокола к горизонтальной плоскости задают в пределах от 30 до 45 °.

Наружные размеры колокольных ванн определяются аналогично стационарным ваннам с подвесками. Габаритные размеры колокольной установки определяются габаритами ванны и размерами механизма для вращения и опрокидывания колокола. Наличие механизма вращения и опрокидывания колокола ориентировочно увеличивает размер ванны на 300 – 500 мм.

3.1.8 Расчёт полуавтоматов

Полуавтоматы, применяемые для гальванических целей, выполняют только одну операцию — нанесение покрытия определённым металлом заданной толщины и отличаются от обычных стационарных ванн тем, что в них детали непрерывно перемещаются от места загрузки до места выгрузки при помощи цепи транспортёра (в прямолинейном или овальном полуавтомате) или движущейся катодной штанги (в кольцевом полуавтомате) /17/.

Загрузочным приспособлением в полуавтомате является малогабаритная подвеска с деталями или крупногабаритная деталь, завешиваемая на подвесной крюк. Детали, покрытие которых производится с дополнительными внутренними анодами (внутренние полости, сквозные и глухие отверстия и т.п.) технически и экономически целесообразно покрывать в полуавтоматах. Мелкие детали в насыпном виде в полуавтоматах не покрывают.

Для удобства обслуживания полуавтоматы имеют один катодный ряд.

При определении количества и производительности полуавтоматов исходят из допустимой скорости движения цепи транспортёра или кольцевой катодной штанги, которая принимается в пределах 0,1 – 1,0 м/мин. При заданной скорости движения подвесок и рассчитанной продолжительности обработки деталей определяют длину катодного ряда (цепи или кольца). Затем определяют загрузку полуавтомата.

В случае отклонения расчётной длины катодного ряда от принятой, при окончательно выбранных габаритах полуавтомата варьируют в указанных пределах скорость перемещения подвесок, добиваясь сходимости расчётной и заданной длины катодного ряда.

Более удобно рассчитывать полуавтоматы, исходя из ритма выдачи подвесок. Ритм выдачи подвесок — это промежуток времени между двумя последовательными выходами подвесок в разгрузочную ванну. Его выбирают в пределах 0,5 – 1,0 мин. При этом предполагается, что подвески выгружаются и загружаются в одном месте одним или двумя рабочими.

3.1.8.1. Расчёт количества и производительности полуавтоматов производится в следующей последовательности:

1. Исходя из габаритов, массы и формы покрываемых деталей, устанавливают величину загрузочной единицы $S_{\text{под}}$ (площадь поверхности деталей на одной подвеске или одной крупногабаритной детали).

2. Определяют годовое количество загрузочных единиц:

$$x = \frac{P_{\text{год}}}{S_{\text{под}}},$$

где $P_{\text{год}}$ — годовая программа с учётом брака, м².

3. Вычисляют время покрытия деталей τ_1 (без учёта времени на загрузку и выгрузку) по методике, приведённой в подразделе 3.1.5.

4. Ритм выдачи подвесок определяют по формуле

$$R_{\text{расч}} = \frac{T_{\text{д}} \cdot z \cdot 60 \cdot K}{x \cdot \tau_3},$$

где $T_{\text{д}}$ — действительный годовой фонд работы оборудования, сут.;

z — количество рабочих часов в сутки, ч;

x — годовое количество загрузочных единиц, шт.;

K — коэффициент использования оборудования (в расчётах принимают $K = 0,95 \div 0,98$);

τ_3 — коэффициент, учитывающий время на подготовительно-заключительные операции.

Так как полуавтоматы останавливать на обеденный перерыв нецелесообразно, то в течение смены они работают непрерывно. Поэтому время на подготовительно-заключительные операции компенсируются временем обеденного перерыва и τ_3 принимают равным единице.

Если расчётный ритм выдачи подвесок $R_{\text{расч}}$ укладывается в интервал времени 0,5 – 1,5 мин., то количество полуавтоматов принимают равным одному. Если ритм выдачи меньше 0,5 мин., то полученное значение увеличивают в целое число раз N , чтобы ритм выдачи укладывался в указанный выше интервал, то есть

$$R = N \cdot R_{\text{расч}},$$

где N — количество принимаемых полуавтоматов.

При расчётном ритме выдачи, существенно превышающем 1,5 мин., уменьшают величину загрузочной единицы, и расчёт производят заново.

5. Величина загрузки полуавтомата, то есть количество подвесок с деталями или деталей, одновременно загружаемых в полуавтомат:

$$n = \frac{\tau}{R}.$$

Дробное расчётное значение n округляют до целого в большую сторону.

6. Длина цепи транспортёра между центрами крайних подвесок или деталей, то есть длина пути движения подвески (или детали) в полуавтомате (рисунок 3.3 и 3.4)

$$l_1 = n \cdot L',$$

где L' — шаг между подвесками, мм.

7. Шаг между подвесками определяют исходя из габаритного размера подвески (или детали) по направлению её перемещения:

$$L' = l + l_2,$$

где l_2 — длина подвески, мм;

l — расстояние между подвесками, мм (значения расстояний приведены в методике расчёта стационарных ванн в подразделе 3.1.6.2).

8. Скорость перемещения подвесок (скорость движения цепи транспортёра):

$$v = \frac{l_1}{R}.$$

Если скорость перемещения подвесок выходит за рамки интервала, указанного выше, то, варьируя шагом между подвесками, добиваются её соответствия значениям рекомендуемого интервала.

9. Загрузка одного полуавтомата по площади покрываемых деталей:

$$S = n \cdot S_{\text{под}}.$$

Расчёт производительности полуавтоматов и реальный коэффициент их загрузки аналогичен расчёту для стационарных ванн.

3.1.8.2. Расчёт габаритов полуавтоматов производится согласно работам [8, 17]. Габариты прямолинейного полуавтомата (рисунок 3.3) определяются следующим образом.

Внутренняя длина полуавтомата равна

$$l_{\text{вн}} = l_1 + l_2 + 2 \cdot l_3,$$

где l_3 — расстояние между торцевой стенкой полуавтомата и краем подвески или детали, мм (значения расстояний приведены в методике расчёта стационарных ванн в подразделе 3.1.6.2).

Ширина и высота прямолинейного полуавтомата определяются так же, как для стационарной ванны (подраздел 3.1.6.2).

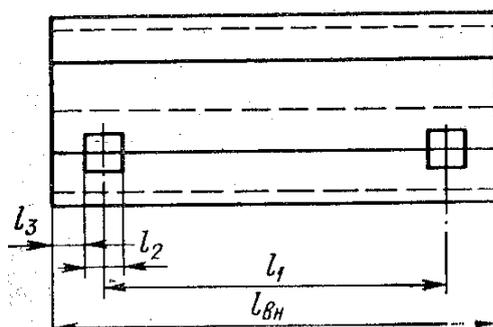


Рисунок 3.3 — Эскиз для расчёта габаритов прямолинейного полуавтомата

Внутренняя ширина овального полуавтомата (рисунок 3.4) при трёх-рядном завешивании анодов на равном расстоянии друг от друга равна

$$W_{BH} = 2 \cdot W_1 + 4 \cdot W_2 + 2 \cdot W_3 + 3 \cdot \delta_{\text{анод}},$$

где W_1 — размер детали или подвески по ширине полуавтомата, мм;

W_2 — расстояние между анодом и ближайшим краем детали или подвески, мм;

W_3 — расстояние между стенкой ванны и анодом, мм;

$\delta_{\text{анод}}$ — толщина анода, мм.

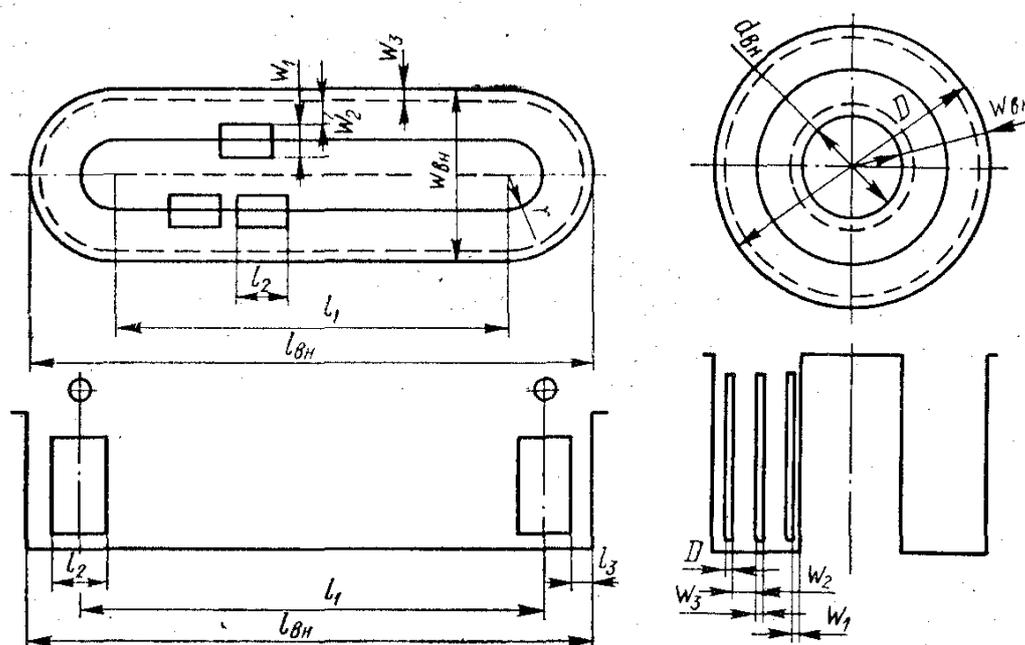


Рисунок 3.4 — Эскизы для расчёта габаритов овального и круглого полуавтоматов

Внутренняя длина овального полуавтомата

$$l_{\text{вн}} = l_1 + W_{\text{вн}},$$

где l_1 — расстояние между осями поворотных кругов звёздочек цепи (рисунок 3.4).

Расстояние l_1 определяется по формуле

$$l_1 = \frac{l'}{2} - \pi \cdot r,$$

где l' — длина цепи транспортёра в полуавтомате, мм;

r — радиус звёздочки или поворотного круга цепи, мм.

Внутренняя высота ванны овального полуавтомата определяется по методике, приведённой в подразделе 3.1.6 для расчёта стационарных ванн.

Для круглого (кольцевого) полуавтомата (рисунок 3.4) внутренний диаметр по большой окружности рассчитывается по формуле

$$D = d_{\text{вн}} + 2 W_{\text{вн}},$$

где $d_{\text{вн}}$ — внутренний диаметр по меньшей окружности кольцевого полуавтомата, мм.

Величина $d_{\text{вн}}$ принимается в зависимости от конструкции полуавтомата и конструкции и размеров приводного механизма.

Внутренняя ширина кольцевой ванны:

$$W_{\text{вн}} = 2 \cdot W_1 + 2 \cdot W_2 + W_3 + 2 \cdot D,$$

где W_1 — расстояние между стенкой ванны и анодом, мм;

W_2 — расстояние между анодом и ближайшим краем детали или подвески, мм;

W_3 — размер детали или подвески по ширине полуавтомата, мм;

D — толщина анода, мм.

Высота ванны кольцевого полуавтомата рассчитывается аналогично стационарным ваннам.

Внешние размеры полуавтоматов зависят от конструкции ванн и дополнительного оборудования и складываются из соответствующих внутренних размеров ванн, толщины стенок и размеров дополнительного оборудования (бортовые отсосы, приводные устройства, фильтры, насосы).

3.1.9 Расчёт кареточного автомата

Кареточные автоматы являются наиболее распространёнными и совершенными из используемых в производстве и предназначены для покрытия изделий средних габаритов. Они представляют собой агрегаты с овальной формой транспортного устройства и U-образной компоновкой ванн.

В кареточных автоматах ванны устанавливают в порядке последовательности операций технологического процесса: подготовительные, нанесение покрытия и заключительные. Загрузочной единицей кареточных автоматов является одна или две подвески (в зависимости от количества катодных рядов), колокол или барабан.

При использовании типовых конструкций кареточных автоматов рекомендуется принимать следующие стандартные размеры подвесок, мм: 400×100×600; 400×150×900; 400×150×1100; 600×150×600; 600×150×900; 600×150×1100 /3/.

Для деталей, габаритные размеры которых не укладываются в стандартные размеры подвесок, типовые конструкции автоматов неприменимы и автоматы изготавливаются по индивидуальному заказу. Однако максимальную высоту подвесок не следует принимать более 1600 – 1800 мм. Единоновременную загрузку на одну подвеску принимают либо по средним или укрупнённым нормам, либо на основании загрузочной ведомости.

Загрузочные приспособления выдаются из автоматов периодически через определенный промежуток времени, соответствующий ритму выдачи изделий из автомата. Годовая производственная программа, ритм выдачи приспособлений и принятый технологический процесс определяют основные параметры автоматов: количество ванн, их размеры и общие габаритные размеры автоматов.

Ритм выдачи изделий (мин.):

$$R_{\text{расч}} = \frac{T_{\text{д}} \cdot z \cdot 60 \cdot n \cdot Y \cdot K_{\text{загр}}}{P_{\text{год}}},$$

где $T_{\text{д}}$ — действительный годовой фонд работы оборудования, сут.;

z — количество рабочих часов в сутки, ч;

n — количество катодных рядов;

Y — величина загрузки подвесочного приспособления, м²;

$P_{\text{год}}$ — годовая программа с учётом брака, м²;

$K_{\text{загр}}$ — коэффициент загрузки автомата.

По величине расчётного ритма выдачи принимают величину действительного ритма $R_{\text{пр}}$ и рассчитывают реальную производительность автомата

$$P'_{\text{год}} = \frac{60 \cdot n \cdot Y}{R_{\text{пр}}},$$

а затем необходимое количество автоматов

$$N = \frac{P_{\text{год}}}{P'_{\text{год}} \cdot T_{\text{д}} \cdot z}.$$

Полученное значение, если оно дробное, округляют до ближайшего целого (обычно в сторону увеличения) и уточняют повторно ритм выдачи изделий $R_{\text{пр}}$.

Кареточные автоматы имеют ритм выдачи в пределах 0,7 – 3,5 мин. В типовых автоматах системы КОп ритм выдачи составляет 1,0 – 2,5 мин. Если расчётный ритм выдачи превышает указанные значения, то необходимо уменьшить величину загрузки одного загрузочного приспособления (подвески, колокола или барабана) и произвести расчёт ритма заново.

Если расчётный ритм меньше допустимого значения, то его принимают в пределах рекомендуемых значений таким, чтобы он был кратным расчётному. При этом ритм выдачи не должен быть меньше минимального времени обработки деталей на подготовительно-заключительных операциях технологического процесса, например, на операциях промывки или активирования.

3.1.9.1. Расчёт размеров кареточных автоматов производят, учитывая, что ванны в них устанавливают в порядке последовательности операций техпроцесса и количество ванн соответствует количеству операций.

Длина ванн зависит от продолжительности процесса, от количества позиций загрузочных приспособлений, одновременно находящихся в ванне, и шага между загрузочными приспособлениями (подвесками, барабанами или колоколами), то есть от расстояния между осями соседних загрузочных приспособлений.

В зависимости от конструкций кареточных автоматов шаг между загрузочными приспособлениями может быть постоянным или переменным. Целесообразно принимать переменный шаг, так как в этом случае габаритные размеры автомата меньше, чем размеры автомата с постоянным шагом.

При этом минимальный шаг (так называемый укороченный шаг) определяется размером загрузочных приспособлений по направлению их горизонтального перемещения, то есть по длине автомата и минимальным расстоянием между ними. Нормальный шаг также определяется размером загрузочных приспособлений по длине автомата, расстоянием между бортами соседних ванн и шириной борта. Нормальный шаг — это расстояние между осями соседних загрузочных приспособлений, находящихся в соседних ваннах.

Последовательность расчёта размеров кареточных автоматов следующая.

1. Рассчитывается шаг между подвесками в автоматах с постоянным шагом или нормальный шаг в автоматах с переменным шагом, мм:

$$l_{\text{н}} = l_1 + 2 \cdot l_2 + l_3,$$

где l_1 — размер подвески по длине автомата (ширина подвески), мм;

l_2 — расстояние от края подвески до стенки ванны, мм;

l_3 — расстояние между внутренними стенками соседних ванн, мм.

Расстояние l_2 принимают в пределах 50 – 100 мм. Расстояние l_3 зависит от конструкции ванн, ширины отбортовки и составляет примерно 100 – 150 мм. В автоматах модели КОп $l_2 = 80$ мм, а $l_3 = 140$ мм.

В автоматах с переменным шагом между подвесками расстояние между центрами подвесок в многопозиционных ваннах меньше, чем для подвесок, находящихся на стыке двух ванн. В этом случае различают: нормальный шаг — для подвесок, находящихся в однопозиционных ваннах или на стыке двух ванн, и укороченный шаг — для подвесок, находящихся в многопозиционных ваннах.

Укороченный шаг определяют по формуле

$$l_y = l_1 + l_4,$$

где l_4 — расстояние между подвесками в многопозиционной ванне, мм. Это расстояние зависит от размеров и конфигурации деталей. В автоматах модели КОп оно принимается равным 100 мм.

2. Определяется количество позиций в каждой ванне:

$$m = \tau / R_{\text{пр}},$$

где τ — время обработки деталей на данной технологической операции с учётом времени переноса загрузочных приспособлений из ванны в ванну, мин.

Обычно для кареточных автоматов время переноса невелико и приблизительно составляет 25 – 30 с. Поэтому в расчётах его можно не учитывать. Количество позиций следует начинать рассчитывать с максимального времени обработки, то есть с основной ванны. Затем ведётся расчёт количества позиций для других ванн в порядке убывания времени обработки до тех пор, пока расчётное количество позиций не будет равно или меньше единицы. На этом расчёт прекращают и для оставшихся технологических операций принимают однопозиционные ванны. Для кратковременных процессов, длящихся до 20 – 30 с, например пассивирование, следует применять ванны с укороченным циклом обработки.

3. Длина ванны, мм, на прямолинейном участке автомата с постоянным шагом

$$L = m \cdot l_n,$$

а с переменным шагом

$$L_{\text{пер}} = l_n + l_y \cdot (m - 1).$$

4. Длина ванны, мм, находящейся на закруглении автомата с постоянным шагом:

$$L_{\text{закр}} = l_n \cdot (m - m_{\text{закр}}) + n \cdot r_{\text{закр}},$$

где $m_{\text{закр}}$ — количество позиций на закруглении ванны;

$r_{\text{закр}}$ — радиус закругления по средней линии ванны, мм.

Радиус закругления принимают конструктивно или приблизительно рассчитывают по формуле

$$r_{\text{закр}} = \frac{w_{\text{вн}}}{2} + \frac{w_{\text{в}}}{2},$$

где $w_{\text{в}}$ — расстояние между внутренними стенками двух рядов ванн, которое в зависимости от конструкции автомата составляет приблизительно от 1200 до 1500 мм;

$w_{\text{вн}}$ — ширина ванны, мм.

Длина ванны, находящейся на закруглении в автоматах с переменным шагом:

$$L_{\text{закр}(п)} = l_n + l_y \cdot [m - (1 + m_{\text{закр}})] + n \cdot r_{\text{закр}}.$$

Для типовых автоматов модели КОп при длине подвесок 400 мм на закруглении ванны находятся две позиции ($m_{\text{закр}} = 2$), при длине подвески 600 мм — одна позиция ($m_{\text{закр}} = 1$), а расстояние между стенками двух рядов ванн равно 1500 мм.

Длину загрузочно-разгрузочной площадки, которая, как правило, находится на закруглении автомата, рассчитывают аналогично длине ванны, находящейся на закруглении. Количество позиций на разгрузочно-загрузочной площадке рассчитывают исходя из времени загрузки-выгрузки и ритма выдачи (как для многопозиционной ванны). При этом учитывают (в зависимости от длины подвески) количество кареток, находящихся на закруглении. Оно должно быть равно количеству кареток, находящихся на противоположном закруглении автомата.

5. Ширина ванн в кареточных автоматах рассчитывается так же, как ширина стационарных ванн. Причём ширина всех ванн принимается одинаковой и определяется шириной электрохимических ванн.

В типовых подвесочных автоматах ширина ванны определяется расстоянием между центрами анодных или катодных штанг. Оно является стандартным и для ванн с двумя катодными рядами составляет 450 мм, а для ванн с одним катодным рядом — 600 и 900 мм.

6. Высота ванн в кареточных автоматах рассчитывается так же, как высота стационарных ванн.

Для подвесочных кареточных автоматов расстояние от дна ванны до нижнего края подвески должно быть равным 200 мм, высота электролита над верхним краем подвески — 50 мм, а расстояние от зеркала электролита до верхнего края борта ванны — 150 мм.

В автоматах модели КОп глубина ванн для подвесок высотой 600, 900 и 1100 мм составляет соответственно 1000, 1300 и 1500 мм.

7. Внешние габариты кареточных автоматов (без учёта выступающих конструкций сушильной камеры и приспособления для механизированной загрузки колокола или барабана) определяют в соответствии с размерами и компоновкой ванн и площадки обслуживания.

Длина автомата:

$$L_{\text{авт}} = l_c + l_a + l_b,$$

где l_c — расстояние между осями звёздочек, мм;

l_a — расстояние от оси звёздочки до края автомата со стороны закругления ванны, мм;

l_b — расстояние от оси звёздочки до края подвески на загрузочно-разгрузочной позиции, мм.

Для автоматов с постоянным шагом:

$$l_c = \frac{l_H \cdot (m_c - 2 \cdot m_{\text{закр}})}{2},$$

где m_c — общее количество позиций (кареток) в автомате.

Для автоматов с переменным шагом:

$$l_c = \frac{l_H \cdot N_c + l_y \cdot [m_c - (N_T + 2 \cdot m_{\text{закр}})]}{2},$$

где N_c — общее количество ванн в линии (сушильная камера и загрузочно-разгрузочная стойка считаются как ванны);

N_T — количество однопозиционных ванн.

Для автоматов модели КОп расстояние в метрах между осями звёздочек должно выражаться чётным числом.

При округлении рассчитанной величины l_c до ближайшего большего чётного числа может оказаться, что разность между расчётным l_c и округлённым l_c' превышает значение величины шага между подвесками, то есть в автомате остаются лишние позиции, где могут быть размещены ещё подвески. Эти лишние позиции целесообразно отнести на операцию загрузки-выгрузки или сушки, увеличив тем самым количество позиций и продолжительность времени обработки на этих операциях.

Расстояние от оси звёздочки до края автомата со стороны закругления ванны:

$$l_a = \frac{w_B}{2} + w_{\text{вн}} + w_H,$$

где w_B — расстояние между двумя рядами ванн в автомате, мм;

w_H — ширина площадки обслуживания, мм. Принимается равной 1000 – 1200 мм.

Расстояние от оси звёздочки до края подвески на загрузочно-разгрузочной позиции:

$$l_B = \frac{W_B}{2} + W_{BH}.$$

Ширина автомата:

$$W_{авт} = 2 \cdot W_{BH} + W_B + 2 \cdot W_H.$$

Высота автомата зависит от его конструкции и высоты подвесок. При высоте подвесок до 1100 мм высота автомата равна 4000 – 4700 мм.

3.1.10 Расчёт механизированных линий

Механизированные линии применяют при небольшой производственной программе или в мелкосерийном производстве с большой номенклатурой покрываемых деталей. Широкое распространение они получили при подготовке сильно загрязнённых деталей перед нанесением покрытий, например, линии обезжиривания, травления или обезжиривания-травления, а также для проведения химических процессов, например оксидирования, фосфатирования и др.

Применяют механизированные линии двух типов: подвесочные и барабанные. Разновидностью подвесочных линий являются линии, в которых детали обрабатываются в кассетах, например, линии для предварительной подготовки или химической обработки деталей. В этом случае загрузочной единицей является плоская перфорированная кассета с деталями. В барабанных линиях загрузочной единицей является барабан.

В подвесочных линиях обрабатываются крупные детали на подвесках или в кассетах, в барабанных линиях — мелкие детали.

Механизированная линия представляет собой ряд ванн, составленный в технологической последовательности, в котором перенос загрузочных приспособлений из ванны в ванну осуществляется механизированным способом, то есть электротельфером или более совершенным транспортным устройством, позволяющим обрабатывать тяжёлые загрузочные приспособления.

Механизированные линии первого поколения представляли собой ряд стационарных ванн и электротельфер. В таких линиях фиксация загрузочного приспособления на позиции, особенно при загрузке ванны, требует достаточно больших затрат времени из-за раскачивания приспособления на гибком тросе электротельфера.

Второе поколение механизированных линий возникло при усовершенствовании транспортных устройств, которые по типу и конструкции аналогичны автооператорам автоматических гальванических линий с программным управлением. В этих линиях время, затрачиваемое на перенос загрузочного приспособления из ванны в ванну, существенно уменьшилось.

Компоновку ванн в механизированных линиях можно производить в виде прямой линии, овала, U-образно, П-образно, Г-образно, Z-образно. Размеры ванн в механизированной линии одинаковы по высоте и ширине линии. Размер ванн по длине линии зависит от количества загрузочных приспособлений, одновременно находящихся в ванне. Основные ванны, то есть ванны для нанесения покрытий или для проведения основной химической обработки, обычно делают многопозиционными — от 3 до 6 позиций.

Учитывая сказанное, расчёт количества ванн и габаритов механизированных линий можно проводить одним из двух способов.

По первому способу расчёт аналогичен рассмотренному в подразделе 3.1.6 для стационарных установок. После определения количества основных и вспомогательных ванн производят компоновку ванн, принимая соответствующую форму механизированной линии (U-образную, прямолинейную, овальную или др.). Затем производят расчёт количества транспортных приспособлений, необходимых для работы линии:

$$Z = \frac{k \cdot \tau_c \cdot n}{\tau_1},$$

где k — коэффициент, учитывающий обратные и холостые (то есть без переноса загрузочного приспособления) ходы транспортного устройства. Принимается равным от 2,0 до 3,0;

τ_c — суммарное время работы транспортного устройства над всеми ваннами линии, мин;

n — количество загрузочных приспособлений, одновременно загруженных во все основные ванны линии;

τ_1 — время покрытия (обработки) деталей без учёта времени на загрузку-выгрузку, мин.

Суммарное время работы транспортного устройства:

$$\tau_c = \tau_{гор} + \tau_{вер} + \tau_{ост},$$

где $\tau_{гор}$ — время, затрачиваемое на горизонтальные перемещения, мин;

$\tau_{\text{вер}}$ — время, затрачиваемое на вертикальные перемещения, мин;

$\tau_{\text{ост}}$ — время остановки над ваннами, продолжительность обработки в которых мала, мин.

Время горизонтальных перемещений

$$\tau_{\text{гор}} = \frac{L}{v_{\text{гор}}},$$

где L — длина линии, м;

$v_{\text{гор}}$ — скорость горизонтальных перемещений транспортного устройства, м/мин. Принимается в пределах от 7,2 до 16,8 м/мин.

Скорость вертикальных перемещений:

$$\tau_{\text{вер}} = \frac{2 \cdot H}{v_{\text{вер}}},$$

где H — высота подъёма загрузочного приспособления, м;

$v_{\text{вер}}$ — скорость вертикальных перемещений транспортного устройства, м/мин. Принимается в пределах от 7,8 до 12,0 м/мин.

Время остановки над ваннами:

$$\tau_{\text{ост}} = \sum_{i=1}^{i=n'} \tau'_i,$$

где τ'_i — время обработки деталей в ваннах с малой продолжительностью процесса, мин;

n' — количество ванн, обработка деталей в которых производится без отхода транспортного устройства от ванны.

Второй способ расчёта механизированных линий аналогичен расчёту автоматических гальванических линий с программным управлением, который приведён далее в подразделе 3.1.11. Его применяют, когда расчётный ритм выдачи загрузочных приспособлений составляет более 20 мин.

Первый способ расчёта механизированных линий наиболее удобен при проектировании линий, использующих в качестве транспортных устройств простые механизмы, например, электротельфер, кнопки управления которым расположены непосредственно на тельферном устройстве. В случае применения более сложных транспортных устройств, например автооператоров автоматических гальванических линий (особенно с фиксацией загрузочных приспособлений на позициях и с централизованным пультом

управления транспортными устройствами), расчёт механизированных линий целесообразно вести по второму способу.

3.1.11 Расчёт автоматических гальванических линий с программным управлением

Автоматические гальванические линии с программным управлением (АЛГ) предназначены для нанесения покрытий на детали, которые загружаются в барабан, в кассеты (при химической обработке) или монтируются на подвески, а также для обработки крупногабаритных, тяжёлых деталей и деталей с внутренними или внешними дополнительными анодами.

АЛГ находят применение во всех отраслях промышленности благодаря их широким функциональным свойствам. На линиях этого типа можно осуществлять:

- 1) различные технологические процессы (электрохимические, химические, анодно-оксидные);
- 2) как отдельные технологические процессы, так и несколько процессов одновременно или поочерёдно;
- 3) изменение последовательности и длительности технологических операций;
- 4) нанесение покрытий с производительностью от 1 до 200 м²/ч;
- 5) обработку как мельчайших изделий, так и крупногабаритных, длиной до нескольких метров;
- 6) обработку изделий на подвесках, в барабанах, корзинах или комбинированно.

Отличительные особенности автооператорных линий:

- 1) возможность перемещения деталей в процессе обработки как в прямом, так и в обратном направлениях;
- 2) ванны и другие позиции обработки могут располагаться не в последовательности выполнения технологических операций;
- 3) возможность осуществления нескольких одноименных операций на одной технологической позиции;
- 4) наличие независимых транспортирующих органов с индивидуальными приводами перемещения и подъёма-опускания;
- 5) неодновременность переноса обрабатываемых изделий;
- 6) отсутствие жёсткой связи между грузозахватным элементом автооператора и подвеской;

7) наличие устройства программного управления.

Таким образом, главное преимущество автооператорных линий — они многопроцессны, то есть на них возможно обрабатывать детали по различным технологическим процессам и совмещать в одной автоматической линии несколько видов покрытий /9 – 11/.

В автооператорных линиях маршрут переноса деталей и длительность их пребывания на каждой позиции задаются технологически, однако, перемещение самого автооператора не совпадает с последовательностью технологических операций и носит челночный характер. В составе линии может быть несколько автооператоров, имеющих свои зоны обслуживания. Зоны обслуживания автооператоров перекрываются на одну, реже на несколько позиций. Каждый автооператор обслуживает не более 7 – 8 ванн.

Перенос подвесок с деталями производится по заданной технологической схеме в соответствии с программой при помощи сигналов, поступающих от системы управления. В большинстве автоматических линий с программным управлением предусмотрена система ручного управления процессом, в этом случае автоматическая линия превращается в *механизованную линию*.

АЛГ разделяют на три типа, различающиеся конструкцией автооператора:

– АЛГ с автооператором тельферного (подвесного) типа, тележка которого перемещается по монорельсу, укрепленному на потолочном перекрытии или на индивидуальных опорах, грузоподъемностью 200 – 2000 кг. Они пригодны для обслуживания ванн практически любой длины и высоты. По сравнению с другими типами линий занимаемая ими площадь меньше на 20 – 30 %, а металлоёмкость — на 10 – 15 % /9/;

– АЛГ с автооператором порталного типа, тележка которого перемещается по направляющим, укрепленным на П-образных стойках (стойки расположены по обеим сторонам ванн), грузоподъемностью 200 – 2000 кг и более. Им присущи высокая надёжность в работе, наибольшая производительность и грузоподъемность, возможность установки в цехах с небольшой высотой потолков;

– АЛГ с автооператором консольного типа, тележка которого перемещается по направляющим путям, укрепленным на Г-образных стойках и расположенным вдоль бортов ванн (с одной стороны), грузоподъемностью

до 100 кг. Грузозахватный орган автооператоров выполнен на консоли, проходящей над поверхностью ванн (длина ванн не должна превышать 1600 мм). Автооператоры этих линий имеют боковую направляющую, поэтому для их размещения не требуется большой высоты цеха. Они компактны, особенно при малых габаритах ванн и небольшой грузоподъёмности.

АЛГ позволяют осуществлять один (однопроцессные линии) или несколько (многопроцессные линии) технологических процессов.

Однопроцессные автоматические линии с жёсткой циклограммой позволяют изменять продолжительность обработки в любой ванне или переоборудовать на другой технологический процесс, изменяя циклограмму или изменяя циклограмму и переставляя ванны.

Многопроцессные линии с жёсткой циклограммой позволяют изменять продолжительность обработки в любой ванне, а также переходить на другие технологические процессы путём изменения циклограммы или путём перестановки ванн (не меняя их количества) и изменения циклограммы.

Существуют многопроцессные автоматические линии двух типов. Линии первого типа позволяют обрабатывать детали по двум или нескольким технологическим процессам только при определённой постоянно заданной очередности поступления загрузочных приспособлений на каждый процесс. Второй тип многопроцессных линий позволяет обрабатывать детали по двум или нескольким технологическим процессам с управлением «от кнопки на процесс» при любом порядке поступления загрузочных приспособлений на каждый процесс. Многопроцессные АЛГ обоих типов работают по индивидуальным для каждого технологического процесса циклограммам.

Загрузочным приспособлением в автоматических гальванических линиях с программным управлением может быть:

- отдельная деталь (для крупногабаритных деталей), закреплённая на катодной (анодной) штанге;
- катодный (анодный) подвесочный комплект, представляющий одну или две катодные (анодные) штанги с одной или несколькими подвесками;
- кассетный комплект, состоящий из одной или нескольких кассет с деталями (для химических процессов);
- отдельный барабан — для нанесения покрытий электрохимическим или химическим методами на мелкие детали.

В автоматических линиях электрохимической обработки основные ванны (ванны для нанесения покрытий), как правило, являются однопозиционными, то есть в каждой ванне одновременно находится только одно загрузочное приспособление. Иногда применяют многопозиционные ванны: двух- или трёхпозиционные. Многопозиционные ванны чаще всего применяют в барабанных или барабанно-подвесочных автоматических линиях. Количество загрузочных приспособлений, находящихся одновременно во всех основных ваннах линии, как правило, не должно быть более шести и обычно составляет от трёх до пяти. Вспомогательные ванны — только однопозиционные.

В качестве сушильных установок для сушки деталей на подвесках и в кассетах используют сушильные камеры, а для сушки мелких деталей, обрабатываемых в барабанах, — сушильные камеры с поддоном или центрифуги.

Ванны в автоматической линии имеют одинаковые размеры по ширине линии. Размер ванн по длине больше у электрохимических ванн. Иногда все ванны автоматической линии имеют одинаковые размеры.

Ванны в автоматических линиях компонуют прямолинейно или U-, Г-, П- и Z-образно. Обычно выбирают прямолинейную компоновку. В этом случае наиболее удобным является совмещение загрузочной и разгрузочной стойки в начале линии, а на противоположном конце линии располагают основные ванны.

Двухрядную компоновку ванн (U- или П-образную) применяют при большой общей длине линии. При такой компоновке загрузочную и разгрузочную стойки располагают соответственно в начале и в конце линии. Перенос загрузочных приспособлений с одного ряда на другой в U-образной линии осуществляется автооператором, а при П-образной компоновке — манипулятором, поворотным автооператором или механизмом перемещения в длинной ванне, расположенной на стыке двух рядов и являющейся общей ванной для каждого ряда.

3.1.11.1. Расчёт однопроцессных гальванических линий с программным управлением осуществляют следующим образом.

Исходными данными для определения количества, производительности и габаритов линии являются: принятый технологический процесс с выбранными интервалами продолжительности обработки на каждой опера-

ции (кроме основной операции, время проведения которой рассчитывается), годовая программа по данному процессу, фонд рабочего времени автоматической линии и площадь поверхности деталей одного загрузочного приспособления.

Выбор загрузочного приспособления и количества деталей на нём производится так же, как при расчёте стационарных установок и кареточных автоматов, учитывая изложенные в начале данного раздела рекомендации.

1. Ритм выдачи загрузочных приспособлений, мин.:

$$R_{\text{расч}} = \frac{S \cdot T_{\text{д}} \cdot z \cdot n \cdot K_{\text{загр}} \cdot 60}{P_{\text{год}}},$$

где S — покрываемая площадь поверхности деталей одного загрузочного приспособления, то есть одной или нескольких подвесок с деталями, одновременно переносимых транспортным устройством, или площадь поверхности загрузки в один барабан, м^2 ;

$T_{\text{д}}$ — действительный годовой фонд работы оборудования, сут.;

z — количество рабочих часов в сутки, ч;

n — количество катодных рядов;

$P_{\text{год}}$ — годовая программа с учётом брака, м^2 ;

$K_{\text{загр}}$ — коэффициент загрузки оборудования.

Если ритм выхода равен или менее 2 мин., то применяют гальваническую линию с жёсткой программой. Количество линий определяется по формуле

$$n_{\text{л}} = \frac{R_{\text{расч}}}{R_{\text{л}}},$$

где $R_{\text{л}}$ — паспортная величина ритма выхода выбранной по /4, 10, 11/ автоматической линии, мин.

Если рассчитанный ритм выхода находится в пределах 6 – 20 мин., то по литературным данным /4, 10, 11/ выбирают автооператорную линию с гибкой программой, ритм выхода которой наиболее близок к расчётному, и в расчётах принимают величину этого ритма $R_{\text{пр}}$.

При ритме выхода приспособлений $R_{\text{расч}}$ менее 6 мин. устанавливают несколько автооператорных линий, а при $R_{\text{расч}} > 20$ мин. используют механизированную гальваническую линию /16/.

Величина ритма выдачи, как правило, не должна быть меньше 4 мин. При меньшем времени необходимо или увеличить величину загрузки подвесочного приспособления, или использовать две и более автоматических линий.

2. Количество основных ванн в автоматической линии:

$$n_{\text{осн}} = \frac{\tau}{R_{\text{пр}}},$$

где τ — время обработки деталей в основной ванне с учётом времени на загрузку-выгрузку, мин.

$R_{\text{пр}}$ — принятый ритм выдачи приспособлений, мин.

Если расчётное количество $n_{\text{осн}}$ — дробное число, то его округляют в большую сторону до целого.

3. Количество вспомогательных ванн:

$$n_{\text{всп}} = \frac{\tau_{\text{всп}} \cdot n_{\text{осн}}}{1,15 \cdot \tau},$$

где $\tau_{\text{всп}}$ — время обработки во вспомогательной ванне, мин.

Расчёт количества вспомогательных ванн для каждой операции проводят, начиная с максимального времени обработки деталей на вспомогательной операции, и ведут до тех пор, пока расчётное число ванн для данной операции не будет меньше единицы. На этом расчёт прекращают и количество ванн для оставшихся операций, длительность которых меньше предыдущей, принимают по одной на каждую операцию.

4. Ориентировочное количество автооператоров, необходимое для реализации требуемого ритма выдачи, равно

$$Z_{\text{авт}} = \frac{(1,5 \div 2,5) \cdot \tau_{\text{ц}}}{R_{\text{пр}}},$$

где $\tau_{\text{ц}}$ — время работы автооператора в течение цикла, с;

1,5 ÷ 2,5 — коэффициент, учитывающий обратные и холостые ходы автооператора. При расчётах для автоматических линий с жёсткой программой принимают значения 1,5 ÷ 2,0, а для автоматических линий с гибкой программой — 2,0 ÷ 2,5.

Время работы автооператора в течение цикла $\tau_{\text{ц}}$ складывается из времени, затрачиваемого на горизонтальные и вертикальные перемещения,

а также времени, в течение которого автооператор простаивает над ванной, выполняя технологическую операцию, или с целью сохранения постоянного ритма выдачи (время вынужденного простоя):

$$\tau_{ц} = \tau_{гор} + \tau_{вер} + \tau_{ост},$$

где $\tau_{гор}$ — суммарное время горизонтальных перемещений автооператора, с;

$\tau_{вер}$ — суммарное время вертикальных перемещений автооператора, с;

$\tau_{ост}$ — время остановки автооператора у ванн, с.

Суммарное время горизонтальных перемещений:

$$\tau_{гор} = \frac{L_{шаг} \cdot (n_{общ} + 1)}{v_{гор}},$$

где $L_{шаг}$ — шаг между ваннами, м;

$n_{общ}$ — общее количество ванн в автоматической линии с учётом сушильных установок, шт;

$v_{гор}$ — скорость горизонтальных перемещений автооператора, которую принимают равной $0,13 \div 0,26$ м/с /16/.

Шаг между ваннами устанавливают исходя из размеров ванн и расстояний между ними:

$$L_{шаг} = \frac{\omega_{вн1} + \omega_{вн2}}{2} + \Delta W,$$

где $\omega_{вн1}$ и $\omega_{вн2}$ — внутренняя ширина ванн различного типоразмера, м;

ΔW — зазор между стенками ванн, м.

В автоматических линиях с постоянным шагом зазор ΔW между ваннами принимается равным наибольшей величине, равной ΔW_2 (приложение В, таблица В. 2), а в линиях с переменным шагом для расчётов используют максимальный или средний шаг между ваннами.

Суммарное время вертикальных перемещений автооператора за цикл:

$$\tau_{вер} = \frac{2 \cdot H_{п} \cdot (n_{общ} + 1)}{v_{вер}},$$

где $H_{п}$ — высота подъёма загрузочных приспособлений, м;

$v_{вер}$ — скорость вертикальных перемещений автооператора, которую принимают равной $0,13 \div 0,2$ м/с.

Высота подъема загрузочного приспособления H_{Π} над ванной зависит от размера загрузочного приспособления по высоте ванны:

$$H_{\Pi} = h_1 + h_2,$$

где h_1 — высота загрузочного приспособления, численные значения которой принимаются или определяются при расчёте высоты ванны, м;

h_2 — расстояние от верхнего края борта ванны до нижнего края загрузочного приспособления, находящегося в поднятом состоянии, м. Принимается для подвесок 0,3 – 0,4 м, а для барабанов — 0,5 – 0,7 м.

Это расстояние определяется конструкцией ванн и размерами бортовых отсосов, защитных козырьков и пр. или размером выступающего над бортом ванны загрузочного приспособления, находящегося в ванне.

Время, затраченное на остановки автооператора у ванн:

$$\tau_{\text{ост}} = n_{\text{поз}} \cdot \tau_{\text{в}},$$

где $n_{\text{поз}}$ — общее количество позиций линии, у которых останавливается автооператор, включая загрузочно-разгрузочную стойку;

$\tau_{\text{в}}$ — время выстаивания автооператора у каждой позиции, с. Принимается для подвесок 6 – 10 с, а для барабанов — 30 – 60 с.

Для многопроцессных автоматических линий количество автооператоров вычисляют для каждого из процессов, а затем суммируют.

5. В зависимости от количества автооператоров и ритма выхода подвесок или барабанов выбирают один из вариантов компоновки автоматической линии в соответствии с таблицей 3.7.

Таблица 3.7 — Выбор вариантов компоновки линии

Ритм выхода подвесок, мин	Количество автооператоров, шт	Наличие передаточных стоек	Вариант компоновки
6 – 20	2 – 3	Нет	а
12 – 16	2 – 3	Есть	б
8 – 12	2 – 4	Нет	в
12 – 20	1 – 4	Есть	г
4 – 8	3	Нет	д
4 – 8	4	Нет	е

Для выбранной технологической схемы и последовательности расстановки позиций составляют предварительную схему компоновки линии (рисунок 3.5).

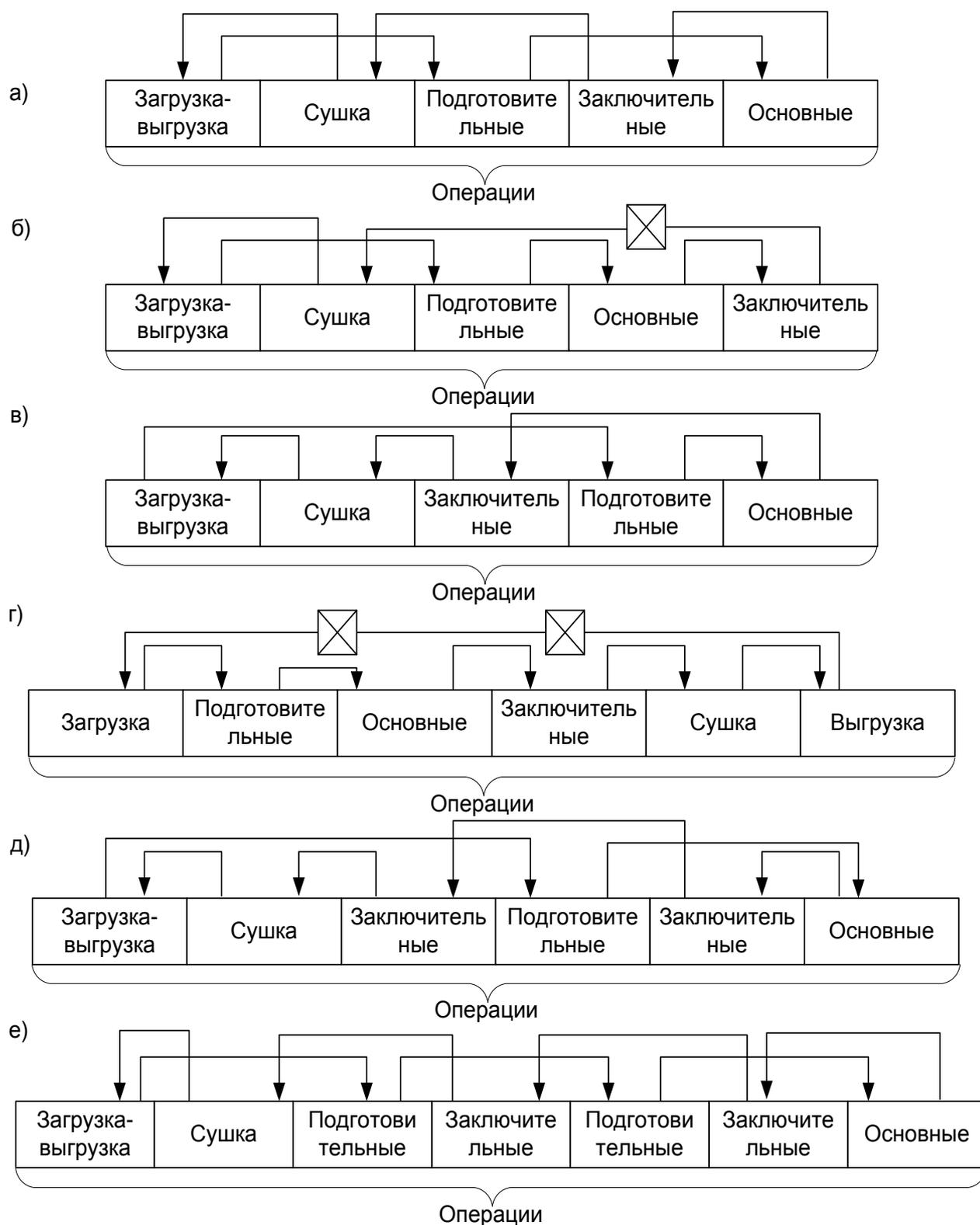


Рисунок 3.5 — Варианты компоновки технологических позиций

6. Рассчитывают габариты гальванической линии. Длина линии:

$$L = \sum_{i=1}^n n_i \cdot \omega_{\text{внеш}} + W_c + W_{з/р} + \Delta W_c + n_0 \cdot \Delta W_0 + n_1 \cdot \Delta W_1 + n_2 \cdot \Delta W_2 + W_б,$$

где n_i — количество ванн одинакового размера в линии, шт.;

$\omega_{\text{внеш}}$ — внешняя ширина ванны принятого размера, мм;

W_c — ширина сушильной камеры, мм. Для барабанов принимается 600 или 700 мм; для двухрядных подвесок и саморазгружающихся барабанов — 800 мм; для подвесок — 600 мм;

$W_{з/р}$ — ширина загрузочно-разгрузочной стойки, мм;

ΔW_c — зазор между сушильной камерой и загрузочно-разгрузочной стойкой, мм;

n_0 — количество комбинаций соседних ванн без бортовых отсосов;

ΔW_0 — зазор между стенками ванн без бортовых отсосов, мм;

n_1 — количество односторонних бортовых отсосов;

ΔW_1 — зазор между стенками ванн с односторонними бортовыми отсосами, мм;

n_2 — количество двухсторонних бортовых отсосов;

ΔW_2 — зазор между стенками ванн с двухсторонними бортовыми отсосами, мм;

$W_б$ — ширина одностороннего бортового отсоса на краю линии, мм.

Размеры загрузочно-разгрузочной стойки $W_{з/р}$, сушильной камеры W_c , одностороннего бортового отсоса на краю линии $W_б$ и зазоры между стенками ванн в зависимости от наличия или отсутствия бортовых отсосов и габаритов ванн приведены в приложении В (таблица В. 2).

Бортовые отсосы представляют собой местную вентиляционную систему для удаления вредных выделений из ванн и предотвращения их попадания в атмосферу цехового помещения, а также для нормализации температурного режима в цехе путём удаления излишней влажности.

Односторонний бортовой отсос используют только при ширине ванны не более 600 мм /9/. На более широких ваннах устанавливают отсосы с двух противоположных сторон ванны. Бортовые отсосы располагают по длинным сторонам ванн. При длине ванны до 1000 мм устанавливают сплошные бортовые отсосы, на более длинные ванны ставят отсосы, вы-

полненные из отдельных секций с самостоятельными отводами в общий выводной канал. Щель бортового отсоса обязательно должна быть расположена вплотную к краю ванны и ниже катодных и анодных штанг, чтобы штанги не забрызгивало раствором.

Ширина линии:

$$B = l_{\text{внеш}} + B_1 + B_2,$$

где $l_{\text{внеш}}$ — внешняя длина ванны, мм;

B_1 — расстояние от внутренней части стенки ванны до наружной плоскости опорной стойки для подвесных автооператоров и наружной плоскости автооператора для порталных и консольных типов, мм. Принимают равным 1000 – 1500 мм. Если подвесной автооператор крепится к потолочному перекрытию цеха, то расстояние $B_1 = 0$;

B_2 — расстояние от внутренней стенки ванны до наружной плоскости площадки обслуживания. Принимают равным 1000 – 1500 мм.

Высота линии принимается в соответствии с таблицей 3.8 в зависимости от внутренней высоты ванн и типа автооператора /16/. В таблице в числителе приведены данные для обработки изделий на подвесках, а в знаменателе — для барабанов.

Таблица 3.8 — Зависимость высоты линии от типа автооператора

Внутренняя высота ванны, мм	Высота линии в зависимости от типа автооператора, мм		
	подвесной	портальный	консольный
800	4250/3650	3530/3380	3300/3250
1000	4450/3800	3980/3530	3700/3400
1250	4700/4250	4230/3780	4100/–
1600	5400/4450	4930/4130	–

Для выполнения процесса нанесения гальванических покрытий в автоматической линии строятся циклограммы. Циклограммой называют графическое изображение функциональных перемещений автооператора при выполнении им последовательности переноса подвесочных приспособлений по технологическим позициям в соответствии с заданными параметрами процесса /16/.

Циклограмма регламентирует:

- направление перемещения автооператора с подвесочными приспособлениями и без них, начальные и конечные точки его движения;
- время перемещения автооператора с позиции на позицию и время его выстаивания на ней;
- время вертикальных перемещений автооператора.

Циклограмма должна обеспечивать:

- максимальный ритм выхода загрузочных приспособлений;
- минимальное число автооператоров при заданной производительности линии;
- минимальное время движения автооператора без подвесок (барбанов);
- необходимое время нахождения готовых изделий на позиции разгрузки (выгрузки);
- минимальное время доставки изделий между позициями горячей промывки и сушки;
- максимальный коэффициент использования ванн;
- минимально возможный интервал времени между операциями травления, активирования и промывки;
- минимальное отклонение времени технологических операций от заданных значений;
- не допускать перенос непромытых изделий над ваннами, особенно над ваннами для электроосаждения металлов;
- возможность изменения длительности вспомогательных операций без изменения времени других операций;
- необходимое время выстаивания автооператора, достаточное для стекания электролита;
- минимальное время выстаивания автооператора над ваннами травления и активирования;
- загрузку и разгрузку ванны для нанесения гальванопокрытий одним автооператором.

Помимо этого необходимо учитывать, что максимальное число автооператоров в автоматической линии не должно превышать 4, а количество ванн, обслуживаемых одним автооператором, — 8. В каждом из подциклов автооператор должен обслуживать все одноместные позиции и по одной из многоместных, каждая одноименная ванна должна быть разгружена и за-

гружена. Запрещается отход автооператора с любой позиции без предварительного подъёма груза захвата.

Для построения циклограммы необходимы:

- схема технологического процесса;
- технологическое время обработки деталей в основных и вспомогательных ваннах;
- ритм выдачи подвесочных приспособлений;
- схема компоновки технологических позиций и расстояние между ними;
- время выстаивания автооператора в верхнем и нижнем положении при обслуживании ванн;
- количество автооператоров, их тип и технические характеристики;
- типы подвесочного приспособления, сушильной камеры, загрузочно-разгрузочной стойки;
- наличие позиции передачи обрабатываемых подвесочных приспособлений от одного автооператора к другому.

Цикл работы автооператора включает операции, используемые для обслуживания всех позиций технологического процесса. Его длительность:

$$\tau_{ц} = R_{пр} \cdot n,$$

где n — число одноимённых ванн с максимально длительной по времени операцией обработки.

Цикл работы автооператора содержит число подциклов, равное n . В каждом из подциклов автооператор обслуживает все позиции с длительностью технологической операции, меньшей ритма выдачи, и одну ванну (для нанесения гальванопокрытия) со временем обработки, большим ритма выдачи. Построение циклограммы производят, используя схему технологических позиций, соответствующую выбранной технологии /16/. Рассчитывают шаг между позициями и время перемещения автооператора между ними.

Циклограмма строится в координатах «технологические позиции» — «время». В необходимом масштабе по оси абсцисс изображают позиции в соответствии со схемой их компоновки, а по оси ординат — продолжительность цикла в секундах. Построение циклограммы начинают с любой позиции, но в большинстве случаев — с позиции разгрузки или загрузки ванны для нанесения гальванопокрытия. Последовательность перемещения

автооператора от позиции к позиции зависит от коэффициента загрузки ванны. В первую очередь должны обслуживаться те ванны, коэффициент загрузки которых больше. В каждом из подциклов автооператор должен взять подвесочное приспособление из ванны гальванопокрытия и перенести его на следующую позицию для дальнейшей обработки. Если время обработки изделий на позиции не превышает 60 с, то автооператор не отходит от подвески или барабана. При времени обработки изделий более 60 с автооператор оставляет приспособление и перемещается на следующую позицию, которую он должен обслуживать. На начальных и конечных точках перемещения автооператора между обслуживаемыми позициями нарастающим итогом указывается время в секундах от начала цикла. Если время обработки на позиции менее 60 с и если его можно варьировать в некоторых пределах, необходимо при расчётах принимать его максимальную величину.

При построении циклограммы с использованием нескольких автооператоров необходимо:

- определить передаточные позиции;
- обеспечивать гарантированное удаление смежных автооператоров при обслуживании передаточных позиций;
- использовать в качестве передаточных позиций позиции со временем обслуживания более 60 с;
- обслуживать передаточные позиции в последовательности «опустил подвеску — взял подвеску».

Пример циклограммы двухоператорной линии цинкования приведён на рисунке 3.6.

Условные обозначения, принятые на рисунке 3.6:

- ▼ — опускание подвесочного приспособления;
- ▲ — подъём подвесочного приспособления;
- — горизонтальное перемещение автооператора с подвеской;
- - — перемещение автооператора без подвески;
- — выстой автооператора с поднятой подвеской;
- ⊙ — выстой автооператора с подвеской в ванне;
- — выстой автооператора над ванной с опущенной подвеской;
- ⊙(30) — выстой автооператора без разгрузки подвески.

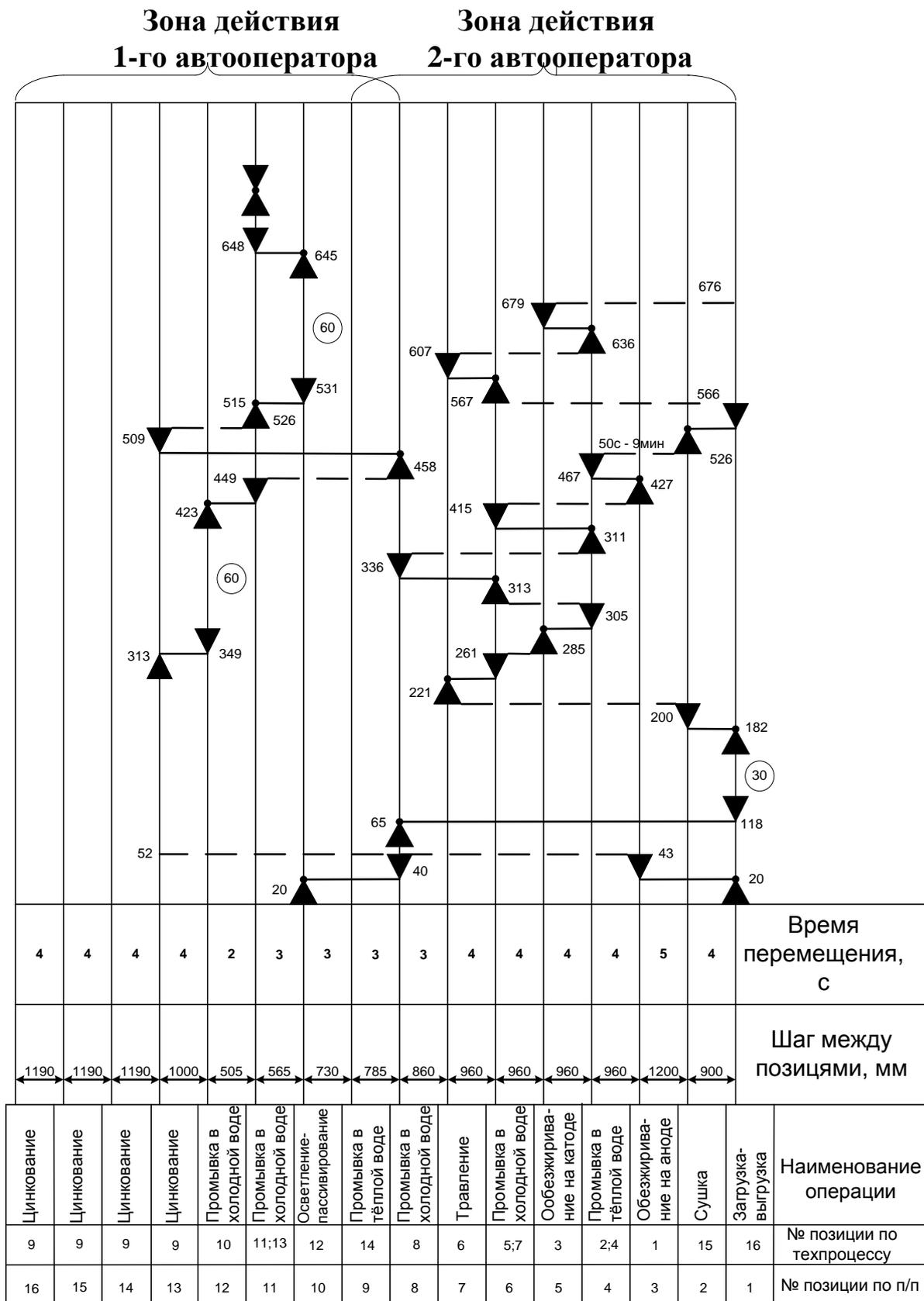


Рисунок 3.6 — Циклограмма линии цинкования

Построив циклограмму, уточняют продолжительность цикла и ритм выдачи автоматической линии.

По данным циклограммы, для обработки одной загрузки ванны, ритм выдачи равен

$$R = \tau_{p.x} + \tau_{x.x},$$

где $\tau_{p.x}$ — продолжительность рабочих ходов автооператора, с;

$\tau_{x.x}$ — продолжительность ходов автооператора без подвески, с.

В отсутствие вынужденных простоев автооператора

$$\tau_{ц} = \tau_1 + \tau_{всп}.$$

Если имеются вынужденные простои автооператора, то

$$\tau'_{ц} = \tau_1 + \tau_{всп} + \tau_{пр},$$

где $\tau'_{пр}$ — время вынужденного простоя автооператора, с.

Для этого случая ритм выдачи подвесочных приспособлений равен

$$R = \frac{\tau'_{ц}}{n_{осн}}.$$

По данным циклограммы определяют время окончательной обработки:

$$T = \tau_{p.x} + \tau_{x.x} + \tau_{общ} + \tau_{н},$$

где $\tau_{общ}$ — суммарное время всех технологических операций, с;

$\tau_{н}$ — время от начала цикла до начала первой операции, с.

Величина расчётной производительности линии за смену:

$$P_{расч} = \frac{\tau_p - \tau_{п.з} - T}{R} + 1,$$

где τ_p — время непрерывной работы линии за смену, с;

$\tau_{п.з}$ — подготовительно-заключительное время работы линии, с.

Величину $\tau_{п.з}$ принимают в пределах 1800 – 2400 с. Если полученная производительность линии ниже необходимой, то следует:

- увеличить время непрерывной эксплуатации линии (без остановок на обед и перерывов между сменами);
- увеличить скорость перемещений автооператоров до максимального паспортного значения;
- сократить время холостых ходов и вынужденных простоев автооператора;

- увеличить величину загрузки подвесочного приспособления;
- увеличить число ванн для нанесения гальванического покрытия.

Более детально с расчётом автооператорных автоматических линий и методикой построения циклограмм можно ознакомиться в литературе /10, 15/.

3.2 МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ ЛИНИИ

При расчётах материального баланса определяют материальные потоки, проходящие через электролизёр за определенное время. В гальванотехнике принято составлять материальные балансы по веществу, в единицах массы.

В статью прихода включаются материальные потоки, поступающие в электролизёр: вода, компоненты электролита, аноды. В статью расхода — унос электролита с деталями, за счёт вентиляции и фильтрации, растворение анодов, образование шлама, потери воды на разложение электрическим током, на испарение, на унос в вентиляционные каналы.

При расчёте материального баланса необходимо учесть расход материалов на первоначальный пуск оборудования и на выполнение годовой производственной программы.

3.2.1 Расчёт расхода материалов на первоначальный пуск

При определении материалов, необходимых для первоначального пуска оборудования, следует рассчитать количество:

- 1) растворимых и нерастворимых анодов;
- 2) химикатов для приготовления растворов электролитов;
- 3) воды для приготовления электролитов;
- 4) материалов для изготовления подвесочных приспособлений.

Массу электродов (растворимых и нерастворимых анодов или катодов), используемых для запуска нового оборудования, рассчитывают по их габаритным размерам, плотности материала и их количеству в ванне /19/.

Масса растворимых и нерастворимых анодов

$$m_p = b \cdot l \cdot \delta_{\text{анод}} \cdot \rho \cdot n_1 \cdot n_2; \quad m_n = m_p,$$

где m_p и m_n — масса растворимых и нерастворимых анодов (катодов), соответственно, кг;

b — длина анодов, которая должна быть не меньше 80 % внутренней высоты ванны, м;

l — суммарная ширина анодов, которая должна быть не меньше 60 % длины анодных штанг в ванне, м;

$\delta_{\text{анод}}$ — толщина анода, м;

ρ — плотность металла анода, кг/м³;

n_1 — количество анодных штанг в ванне;

n_2 — количество одноимённых ванн.

Соотношение площади поверхности растворимых или нерастворимых анодов к площади поверхности катода определяется технологическим процессом.

Количество химикатов и воды на первоначальный пуск ванны вычисляют по заданному объёму электролита (ванны) и величинам массовых концентраций компонентов.

Количество химикатов для приготовления электролитов:

$$m_i = \frac{C_i \cdot V_{\text{эл}} \cdot n_2}{1000},$$

где m_i — масса каждого компонента, кг;

C_i — концентрация каждого компонента, г/л;

$V_{\text{эл}}$ — объём электролита в ванне, л;

n_2 — количество одноимённых ванн.

Количество воды для заполнения промывочных ванн:

$$m_6 = l_{\text{вн}} \cdot \omega_{\text{вн}} \cdot h_3 \cdot \rho_{\text{H}_2\text{O}},$$

где m_6 — масса воды, кг;

$\omega_{\text{вн}}$ — внутренняя ширина ванны, м;

$l_{\text{вн}}$ — внутренняя длина ванны, м;

h_3 — высота уровня электролита от дна ванны, м;

$\rho_{\text{H}_2\text{O}}$ — плотность воды, кг/м³.

Количество воды для приготовления электролита:

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = V_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \rho_{\text{H}_2\text{O}} = (V_{\text{эл}} - \sum V_i) \cdot \rho_{\text{H}_2\text{O}} = \left(V_{\text{эл}} - \sum \frac{m_i}{\rho_i} \right) \cdot \rho_{\text{H}_2\text{O}},$$

где $V_{\text{эл}}$ — объём электролита в ванне, л;

m_i и ρ_i — масса, кг, и плотность, кг/дм³, каждого компонента в электролите.

Расход материалов на изготовление подвесных приспособлений и штанг составляет примерно 5 – 8 кг на 1 м² покрываемой поверхности в смену для однослойного покрытия /9/.

3.2.2 Расчёт расхода анодов на выполнение программы

Теоретически необходимое количество металла для получения заданной толщины покрытия определяется по формуле

$$m_m = \frac{S \cdot \delta \cdot \rho}{1000},$$

где m_m — теоретически необходимое количество металла, кг;

S — площадь обрабатываемой поверхности (годовая производственная программа), м²;

δ — толщина покрытия, мкм;

ρ — плотность осаждаемого металла, г/см³.

Практически необходимое количество металла равно

$$m_n = m_m \cdot k_1 \cdot k_2,$$

где k_1 — коэффициент, учитывающий сложность геометрической формы детали, а также технические условия на приёмку покрытий. Для деталей простой формы $k_1 = 1$. Для деталей сложного профиля при назначении толщины покрытия по выпуклым участкам $k_1 = 0,7 - 0,95$, а при назначении толщины покрытия по углублённым участкам $k_1 = 1,1 - 1,3$;

k_2 — коэффициент, учитывающий непроизводительные потери анодов (потери на покрытие неизолированных частей подвесок, на шламообразование и переплавку анодов). Максимальное значение $k_2 = 1,15$.

Расход растворимых анодов можно рассчитать также по следующей методике /3, 19/. Определяют норму расхода растворимых анодов (на 1 м² поверхности покрытия и 1 мкм его толщины):

$$N_{p.a} = \frac{m_n}{\delta} \left(1 + \frac{a_{шл}}{100} + \frac{a_{омх}}{100} \right),$$

где $N_{p.a}$ — норма расхода растворимых анодов, г/м²·мкм;

m_n — удельная масса покрытия, г/м², которая при толщине покрытия 1 мкм численно равна плотности металла покрытия;

δ — толщина покрытия, $\delta = 1$ мкм;

$a_{шл}$ — потери анодов на образование шлама, %;

$a_{омх}$ — потери анодов за счёт угара при переплавке, %.

Потери анодов на образование шлама и переплавку составляют 3 % /3/. Затем определяют массу анодов для выполнения годовой программы:

$$m_{a.год} = N_{p.a} \cdot P_{год} \cdot \delta,$$

где $P_{год}$ — годовая программа по данному виду покрытия, m^2 ;

δ — толщина покрытия, мкм.

Расход нерастворимых анодов выражают в процентах от массы анодов на первоначальный пуск.

Годовой расход свинцовых анодов при хромировании составляет 40 – 50 %; при электролитическом полировании или активировании — 15 – 20 %. Годовой расход свинцовых катодов при анодировании равен 15 – 20 % от массы катодов на пуск линии.

Стальные аноды (катоды) или аноды из стали, покрытой никелем, в щелочных электролитах электрохимического обезжиривания заменяются примерно один раз в год.

Согласно работе /3/, норма расхода нерастворимых анодов (катодов), $г/м^2$, равна

$$N_n = \frac{k_1 \cdot S \cdot \delta_{анод} \cdot \rho \cdot \tau \cdot 1000}{K_{загр} \cdot T_d \cdot z \cdot 60},$$

где k_1 — коэффициент сменяемости анодов (катодов) в год;

S — отношение анодной (катодной) площади поверхности к катодной (анодной);

$\delta_{анод}$ — толщина анода (катода), мм;

τ — время, необходимое для обработки деталей на данной операции с учётом времени на загрузку и выгрузку, мин.;

ρ — плотность материала анода (катода), $г/см^3$;

$K_{загр}$ — коэффициент загрузки оборудования.

Все необходимые для расчёта норм расхода нерастворимых анодов (катодов) данные приведены в приложении Г (таблица Г. 1).

Годовой расход нерастворимых анодов (катодов), кг:

$$m_{n.год} = N_n \cdot P_{год} / 1000.$$

3.2.3 Расход химикатов на выполнение программы

Расход химикатов при нанесении электрохимических покрытий (кроме хромирования) рассчитывается по формуле

$$m = (m_1 + m_2 + m_3 + m_4) \cdot S,$$

где S — площадь покрываемых деталей (годовая производственная программа), м^2 ;

m_1 — потери на унос электролита с деталями и подвесными приспособлениями при выгрузке деталей из ванны, $\text{г}/\text{м}^2$;

m_2 — потери на унос электролита в вентиляционные каналы, $\text{г}/\text{м}^2$;

m_3 — потери химикатов при фильтрации и (или) смене электролита, $\text{г}/\text{м}^2$;

m_4 — расход химикатов на электрохимический процесс нанесения покрытий, $\text{г}/\text{м}^2$.

Потери на унос рассчитываются по следующим формулам:

$$m_1 = C_i \frac{N_1}{1000}; \quad m_2 = C_i \frac{N_2}{1000}; \quad m_3 = C_i \frac{N_3}{1000},$$

где m_1 , m_2 и m_3 — потери на унос электролита с деталями и подвесными приспособлениями, в вентиляцию и на фильтрацию, соответственно, $\text{г}/\text{м}^2$;

C_i — концентрация i -го компонента в электролите, $\text{г}/\text{л}$;

N_1 , N_2 , и N_3 — нормы потерь на унос при выгрузке деталей, в вентиляционную систему и при фильтрации, соответственно, $\text{см}^3/\text{м}^2$.

Нормы потерь химикатов выбирают в зависимости от сложности конфигурации изделий. Все детали в зависимости от их сложности конфигурации принято разделять на 3 группы:

I — пластины и цилиндрические детали без резьбы;

II — крепёжные и металлические детали;

III — детали с глубокими отверстиями, пазами и другими аналогичными участками.

Примерные удельные нормы потерь на унос химикатов в зависимости от состава электролита и группы сложности деталей приведены в приложении Г (таблица Г. 2) /8/. При расчёте норм потерь химикатов на покрытие изделий в колокольных ваннах или в барабанах их увеличивают: при покрытии в погружных колоколах и барабанах — в 1,5 раза, а в наливных колоколах — в 1,8 раза по сравнению с покрытием деталей на подвесках. При определении норм потерь химикатов на покрытие деталей в автоматических и полуавтоматических линиях нормы расхода, принятые для стационарных ванн, умножают на коэффициент 0,8.

Для тех процессов, когда в растворе накапливается большое количество примесей и они подлежат частой смене (травление, активирование, оксидирование, обезжиривание и др.), рассчитывают объём раствора $V_{см}$, подлежащий смене за определённый промежуток времени:

$$V_{см} = V_{эл} \cdot n_2 \cdot n,$$

где $V_{эл}$ — объём раствора в одной ванне, л;

n_2 — количество одноимённых ванн;

n — количество смен раствора в год.

Затем подсчитывают величину потерь:

$$m_3 = C_i \frac{V_{см}}{S},$$

где C_i — концентрация i -го компонента в электролите, г/л;

S — поверхность обрабатываемых деталей (годовая производственная программа), м².

Смена растворов для ванн обезжиривания, травления и активирования производится от 10 до 50 раз в год в зависимости от объёма ванн, поверхности обрабатываемых деталей и их количества /19/.

Расход химикатов на электрохимический процесс нанесения покрытия можно определить по формуле

$$m_4 = 100 \cdot j_k \cdot \tau \cdot e,$$

где j_k — катодная плотность тока, А/дм²;

τ — продолжительность процесса, ч;

e — удельная величина потерь, г/(А·ч), которая определяется практически (приложение Г, таблица Г. 3) /17/.

Для процесса хромирования m_4 рассчитывают по формуле

$$m_4 = \delta \cdot \rho \cdot \frac{M_1}{M_2} = 13,6 \cdot \delta,$$

где δ — толщина покрытия, мкм;

ρ — плотность хрома, г/см³ (7,9 г/см³);

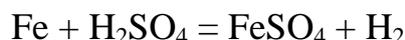
M_1 — молекулярная масса хромового ангидрида, $M_1 = 100$ г/моль;

M_2 — атомная масса хрома, $M_2 = 52$ г/моль.

В ваннах хромирования, содержащих соединения шестивалентного хрома, норма расхода хромового ангидрида складывается из массы, необходимой для осаждения покрытия, потерь на унос с деталями и приспособле-

ниями в промывные воды, потерь на унос в вентиляцию, а также при фильтрации и чистке ванн. Примерные нормы суммарного расхода хромового ангидрида в зависимости от функционального назначения покрытия и группы сложности покрываемых деталей приведены в приложении Г (таблица Г. 4) /19, 20/.

При травлении деталей необходимо рассчитывать годовой расход кислот при их взаимодействии с металлом. Считается, что при травлении теряется в среднем 50 г металла с 1 м² обрабатываемой поверхности деталей. Например, при травлении железа серной кислотой по реакции



её годовой расход составляет

$$m_{\text{H}_2\text{SO}_4} = P_{\text{год}} \cdot \frac{M_{\text{H}_2\text{SO}_4} \cdot 50}{M_{\text{Fe}}},$$

где $M_{\text{H}_2\text{SO}_4}$ — молекулярная масса серной кислоты (98 г/моль);

M_{Fe} — атомная масса железа (56 г/моль).

Результаты расчётов расхода анодов и химикатов оформляются в виде таблицы 3.9.

Таблица 3.9 — Расход анодов и химикатов

Наименование химикатов и материалов	Назначение	ГОСТ или ТУ	Ед. измерения	Расход на 1 м ² поверхности	Обрабатываемая поверхность в год, м ²	Расход		Общая годовая потребность
						при пуске	на программу	

3.2.4 Расход воды на выполнение производственной программы

При выполнении производственной программы вода расходуется на испарение, а в электролитических ваннах, где выход по току металла меньше 100 %, — на разложение электрическим током.

Убыль воды вследствие уноса с деталями в расчёт не входит, так как можно условно принять, что количество воды, уносимой деталями из ванн, примерно равно количеству воды, вносимой деталями при загрузке их в ванну.

Масса воды, испаряющейся из ванн:

$$m_{исп} = \frac{45,6 \cdot (0,56 + 0,14 \cdot k) \cdot S \cdot \left(P_1 - \frac{P_2 \cdot \varphi}{100} \right) \cdot \tau \cdot n}{B},$$

где S — поверхность зеркала электролита, м²;

P_1 — давление насыщенного водяного пара при температуре электролита, Па;

P_2 — давление насыщенного водяного пара при температуре воздуха, Па;

τ — время (действительный годовой фонд работы оборудования), ч;

B — барометрическое давление, Па;

φ — влажность воздуха, %, принимается 70 – 80 %;

k — безразмерный коэффициент, численно равный скорости движения воздуха над поверхностью электролита (для быстро движущегося воздуха $k = 0,86$; для медленно движущегося воздуха $k = 0,71$; для спокойного воздуха $k = 0,56$) /8/;

n — количество одноимённых ванн.

Давление насыщенного водяного пара в зависимости от температуры приведено в приложении Г (таблица Г. 5) /19/.

Расход воды, обусловленный реакцией её разложения электрическим током, равен

$$m_{H_2O} = \bar{\mathcal{E}}_{H_2O} \cdot I \cdot \tau \cdot B m_{H_2},$$

где $\bar{\mathcal{E}}_{H_2O}$ — электрохимический эквивалент воды, г/(А·ч);

$B m_{H_2}$ — выход по току водорода;

I — сила тока на электролитической ванне, А;

τ — время (действительный годовой фонд времени работы ванн), ч.

Массу материалов (анодов, катодов), химикатов и воды рассчитывают на годовую программу. Материальный баланс для всех ванн реконструируемого участка гальванопокрытий приводят в виде таблицы 3.10.

Таблица 3.10 — Материальный баланс гальванической линии

Статьи прихода	Масса материала, кг	Статьи расхода	Масса материала, кг

3.2.5 Расход воды на промывку

Расход воды на технологические нужды можно определить двумя способами:

- 1) исходя из сменяемости ванн;
- 2) пользуясь критерием промывки.

Для определения расхода воды по сменяемости принимают следующие исходные данные:

- 1) в ваннах для холодной промывки 1 – 2 объёма в час;
- 2) в ваннах для горячей промывки 0,5 – 1 объём в час /17/.

Определение расхода воды по критериям промывки точнее. Этот способ учитывает метод промывки (погружением, струйный или каскадный), количество ванн, концентрацию компонентов в технологической ванне, допустимую концентрацию компонентов после конечной промывки.

В процессе нанесения гальванопокрытий при промывочных операциях затрачивается значительное количество воды.

Величина расхода воды на промывку зависит от способа промывки и количества промывочных ванн после данной операции, необходимого для достижения допустимой концентрации компонентов в воде после конечной промывки.

Применяют различные способы промывки:

- погружением;
- струйный;
- каскадный.

Схемы промывки при погружном способе могут быть одноступенчатыми и многоступенчатыми (каскадными). Многоступенчатая промывка может осуществляться прямоточным и противоточным способами. При прямоточном — чистая вода подаётся в каждую из ванн, а при противоточном — в ванну конечной промывки, а из неё самотёком — в предыдущие и сбрасывается из последней в сток.

При реализации промывки способом погружения удельный расход воды V_{yd} , см³/м², определяется:

- при одноступенчатой промывке

$$V_{yd} = q \cdot k_0;$$

- при многоступенчатой промывке в промывных ваннах с одинаковым расходом воды

$$V_{y\partial} = q \cdot N \cdot \sqrt[N]{k_0} ;$$

– при многоступенчатой противоточной промывке

$$V_{y\partial} = q \cdot \sqrt[N]{k_0} ,$$

где q — удельная норма уноса электролита из основной ванны с деталями, $\text{см}^3/\text{м}^2$, $q = N_1$ (приложение Г, таблица Г. 2) /8/;

N — число ступеней (ванн) проточной промывки после ванны технологической операции;

k_0 — критерий промывки.

Величина критерия промывки равна отношению концентрации отмываемого компонента в технологической ванне C_i к его предельно допустимой концентрации (ПДК) C_n в промывных водах $k_0 = C_i/C_n$. Расчёт производят по компоненту электролита, ПДК которого имеет минимальное значение. Данные о ПДК в промывных водах различных веществ приведены в приложении Г (таблица Г. 6).

При использовании ванн улавливания величину k_0 умножают на коэффициент α , учитывающий их наличие. При одной ванне улавливания $\alpha = 0,4$; при двух — $0,15$; при трёх — $0,06$ /9/.

Расход воды при струйной промывке /17, 19/:

$$V_c = 0,045 \cdot n \cdot S_1 \sqrt{2g \cdot H} ,$$

где $0,045$ — коэффициент расхода воды при струйной промывке;

n — число отверстий в форсунках;

S_1 — сечение выходного отверстия, см^2 ;

g — ускорение свободного падения, $\text{см}/\text{с}^2$;

H — напор на выходе струи, см.

Время промывки:

$$\tau = \frac{k_c \cdot g \cdot k_0 \cdot S_c}{V_c} ,$$

где k_c — коэффициент смыва раствора, равный $0,5$ и $0,7$ для деталей простой и сложной конфигурации соответственно;

S_c — суммарная поверхность деталей, загружаемая одновременно в ванну промывки, м^2 .

Удельная норма расхода воды при струйной промывке:

$$V_{y\partial} = \frac{V_c \cdot \tau}{S_c} .$$

Струйная промывка действует более эффективно, но она затруднена при обработке профилированных деталей. Лучшие результаты достигаются при комбинированном способе, когда детали погружаются в промывную ванну и затем, при их выгрузке, над зеркалом раствора подвергаются струйной обработке.

При каскадной промывке удельный расход воды равен

$$V_{\kappa} = \frac{q \cdot S_c}{\tau} \sqrt[N]{k_0},$$

где τ — интервал времени между промывками подвесочных приспособлений, мин;

N — количество промывных ванн.

Расход воды (л/ч) с учётом уноса её с деталями, количества ступеней (ванн) промывки, площади обрабатываемой поверхности, критерия промывки определяется по формуле /9/:

$$Q = n \cdot q \cdot P_{\text{час}} \cdot \sqrt[N]{\alpha \cdot k_0},$$

где Q — расход воды, л/ч;

q — удельная норма уноса раствора из ванны с деталями, л/м²;

$P_{\text{час}}$ — площадь промываемой поверхности в единицу времени (часовая производительность линии), м²/ч;

α — коэффициент, учитывающий наличие ванн улавливания, величина которого приведена выше;

n — количество промывных ванн с самостоятельной подачей воды;

N — количество ступеней проточной промывки.

Удельные нормы уноса раствора q в зависимости от состава электролита приведены в приложении Г (таблица Г. 7) /9/. Формулы расчёта расхода воды для часто встречающихся схем промывки приведены в приложении Г (таблица Г. 8) /9/.

Чем больше ванн (ступеней) промывки, тем меньше требуемый расход воды. Причём наибольшее сокращение расхода воды на промывку (более чем в 10 раз) достигается при замене одноступенчатой промывки (одинарной промывки) на двухступенчатую (прямоточную или каскадную).

Результаты расчётов расхода воды для ванн промывки представляют в виде таблицы 3.11.

Таблица 3.11 — Расход воды для ванн промывки

Наименование ванн, после которых производится промывка, схема промывки	Удельный вынос раствора из ванны, см ³ /м ²	Концентрация основного компонента в технологической ванне, г/л	Допустимая концентрация после промывки, г/л	Критерий промывки	Удельный расход воды, см ³ /м ²	Расход воды, л/ч

3.2.6 Расход сжатого воздуха

Суточный расход сжатого воздуха:

$$V_{\text{возд}} = \frac{q' \cdot V_{\text{эл}} \cdot n \cdot \tau \cdot 60}{1000},$$

где $V_{\text{возд}}$ — суточный расход сжатого воздуха, м³;

q' — удельный расход сжатого воздуха на перемешивание 1 л раствора, л/мин;

τ — время работы ванн в сутки, ч;

n — количество ванн;

$V_{\text{эл}}$ — объём электролита в ванне, л.

Удельный расход сжатого воздуха на перемешивание 1 л раствора (л/мин) /17/:

1) при слабом перемешивании 0,5;

2) при среднем перемешивании 1,0;

3) при сильном перемешивании 1,5.

Расход сжатого воздуха на обдув деталей для их сушки составляет примерно 20 – 50 м³/ч /9/.

3.3 ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ ЛИНИИ

Если при эксплуатации гальванических ванн требуются температуры выше цеховых, то для их подогрева применяют различные устройства. В качестве источников энергии для подогрева ванн используют электрический ток, горячую воду или водяной пар. Основными критериями для выбора источника тепловой энергии являются:

– температура при эксплуатации ванны и необходимость её регулирования;

- стоимость энергоносителя и его доступность;
- особенности технологического процесса (скорость нагрева ванны и др.).

При температурах до 343 К можно использовать в качестве теплоносителя горячую воду. Использование в качестве теплоносителя водяного пара целесообразно, если требуется температура не выше 373 К. Электрические нагреватели используют в основном при необходимости нагрева электролита до температуры выше 373 К.

Количество теплоты, необходимое для нормальной эксплуатации ванны, расходуется на:

- нагрев ванны и электролита в ней;
- потери в окружающую среду и с деталями.

3.3.1 Расход теплоты на пуск гальванической линии

Расход теплоты на пуск гальванической линии включает:

- теплота, необходимая для разогрева растворов электролитов и воды в ваннах тёплой и горячей промывок, а также корпусов ванн;
- потери теплоты в окружающую среду в период разогрева ванн.

Количество теплоты, необходимое для разогрева электролита и корпуса ванны /20, 21/:

$$Q_p = (V \cdot c_1 \cdot \rho + c_2 \cdot m_1 + c_3 \cdot m_2) \cdot \Delta T,$$

где V — объём раствора, м³;

c_1 — удельная массовая теплоёмкость раствора, Дж/(кг·К);

ρ — плотность раствора, кг/м³;

c_2 — удельная массовая теплоёмкость материала корпуса ванны, Дж/(кг·К);

m_1 — масса корпуса ванны, кг;

c_3 — удельная массовая теплоёмкость футеровки ванны, Дж/(кг·К);

m_2 — масса футеровки, кг;

ΔT — разность между цеховой температурой и температурой электролита, К.

Величины удельных массовых теплоёмкостей находят по /22, 23/.

Массу корпуса ванны и футеровки рассчитывают по формуле

$$m = S \cdot \delta \cdot \rho,$$

где S — площадь поверхности корпуса ванны или футеровки, м^2 ;
 δ — толщина стенки ванны или футеровки, м ;
 ρ — плотность материала корпуса ванны или футеровки, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Удельную теплоёмкость многокомпонентного электролита вычисляют по правилу аддитивности:

$$c = \sum c_i \cdot a_i,$$

где c_i — теплоёмкость i -го компонента, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})/22, 23/$;

a_i — массовая доля i -го компонента в растворе.

Следует учитывать, что растворитель (обычно вода) также является компонентом электролита.

Количество теплоты, теряемое в окружающую среду в период разогрева ванны, складывается из потерь теплоты q_1 , передаваемой от нагретой жидкости через стенки ванны, и потерь теплоты q_2 на испарение жидкости с поверхности зеркала электролита:

$$Q_2 = q_1 + q_2.$$

Количество теплоты, передаваемой нагретым электролитом через стенки ванны:

$$q_1 = k \cdot S \cdot \tau \cdot \Delta T,$$

где k — коэффициент теплопередачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$;

S — площадь поверхности корпуса ванны, м^2 ;

τ — время разогрева ванны, с .

Время разогрева принимается обычно равным 1 ч.

Коэффициент теплопередачи:

$$k = \frac{1}{1/\alpha_1 + \sum_{i=1}^n R_i + 1/\alpha_2},$$

где α_1 и α_2 — коэффициенты теплоотдачи на граничных поверхностях сред, $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$;

R_i — термическое сопротивление i -го слоя стенки, $\text{м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$;

n — число слоёв стенки.

Термическое сопротивление слоёв стенки

$$R_i = \frac{l_i}{\lambda_i},$$

где l_i — толщина i -го слоя стенки, м;

λ_i — коэффициент теплопроводности i -го слоя, Вт/(м·К).

Значения коэффициентов теплопроводности материалов, широко применяемых при изготовлении гальванических ванн, приведены в таблице 3.12.

Таблица 3.12 — Коэффициенты теплопроводности материалов, применяемых для изготовления ванн

Материал	Температура, К	Коэффициент теплопроводности, Вт/м·К
Сталь Ст 3	273 – 373	45 – 51
Нержавеющая сталь	373	24,1
Свинец	283	35
Винипласт	283 – 333	0,18 – 0,22
Полипропилен	283 – 333	0,16 – 0,20

Значение коэффициентов теплоотдачи зависит от величины произведения критериев Грасгофа Gr и Прандтля Pr /24/:

$$Gr = \frac{\beta \cdot h^3 \cdot g \cdot \Delta T}{\nu^2}; \quad Pr = \frac{\nu \cdot c \cdot \rho}{\lambda} = \frac{\sigma \cdot c}{\lambda},$$

где β — коэффициент объёмного расширения жидкости, 1/К;

h — высота стенки ванны, м;

g — ускорение свободного падения, м/с²;

ν — кинематическая вязкость жидкости, м²/с;

λ — коэффициент теплопроводности жидкости, Вт/(м·К);

c — удельная теплоёмкость жидкости, Дж/(кг·К);

ρ — плотность раствора, кг/м³;

σ — динамическая вязкость, Па·с.

В зависимости от величины произведения $Gr \cdot Pr$ расчёт коэффициента теплоотдачи α_1 от жидкости к стенке ванны производят по различным формулам /24/.

Если $Gr \cdot Pr < 10^9$, то

$$\alpha_1 = 0,76 \frac{\lambda}{h} (Gr \cdot Pr)^{0,25},$$

в ином случае

$$\alpha_1 = 0,15 \frac{\lambda}{h} (Gr \cdot Pr)^{0,33}.$$

Коэффициент теплоотдачи от стенки корпуса ванны к воздуху:

$$\alpha_2 = 9,74 + 0,07 \cdot (T_{cm} - T_{возд}),$$

где T_{cm} — температура наружной поверхности стенки, К;

$T_{возд}$ — температура воздуха, К.

Потери теплоты на испарение воды:

$$q_2 = m_{H_2O} \cdot c_{H_2O} (T - 298) + A \cdot m_{H_2O},$$

где m_{H_2O} — масса воды, испарившейся за время разогрева (1 ч), кг;

c_{H_2O} — удельная теплоёмкость воды, Дж/(кг·К);

T — температура раствора, К;

A — удельная теплота парообразования воды, $A = 2260$ кДж/кг.

3.3.2 Расход теплоты на поддержание рабочей температуры

Количество теплоты, необходимое для поддержания рабочей температуры электролита $Q_{раб}$, рассчитывают обычно на один час работы ванны.

Для неэлектролитических ванн (промывки, травления, активирования и др.) часовой расход теплоты $Q_{раб}$ складывается из количества теплоты Q_2 , теряемой в окружающую среду во время работы, а также потерь теплоты Q_3 на нагрев загружаемых деталей и подвесочных приспособлений или барабана:

$$Q_{раб} = Q_2 + Q_3. \quad (3.3)$$

Величину Q_3 можно рассчитать по следующей формуле:

$$Q_3 = (T_k - T_n) \sum m_i \cdot c_i,$$

где T_k и T_n — конечная и начальная температура деталей и подвесочных приспособлений (или барабана), К;

m_i — масса загружаемых в ванну деталей m_1 и подвесочных приспособлений m_2 (или барабана) за 1 час работы, кг;

c_i — удельная теплоёмкость материала деталей и подвесочных приспособлений (или барабана), Дж/(кг·К).

Масса деталей или подвесочных приспособлений (барабанов), загружаемых в ванну за один час, равна

$$m_i = m \cdot 60/\tau,$$

где m — масса деталей или подвесочных приспособлений (барабанов) за одну загрузку, кг;

τ — время обработки одной загрузки, мин.

Удельная теплоёмкость некоторых материалов, Дж/(кг·К): железо — 439,6 — 485,7; медь — 387,7; латунь — 385,2; цинк — 389,4; серебро — 234,4; алюминий — 879,3 — 937,9; свинец — 129,8; сталь — 481,5; никель — 452,2; винипласт — 1004,9 /8, 19/.

При расчёте расхода теплоты на поддержание рабочей температуры в электролитических ваннах необходимо учитывать количество теплоты, выделяющейся при прохождении электрического тока. Его рассчитывают по закону Джоуля-Ленца (на 1 ч работы):

$$Q_4 = 3600 \cdot I^2 \cdot R, \text{ кДж/ч,}$$

где I — сила тока на ванне, А;

R — сопротивление электролита между катодом и анодом, которое рассчитывается по закону Ома, Ом.

При протекании электрохимических реакций выделяется также теплота Пельтье, которая для случая электролиза водных растворов электролитов незначительна и поэтому в тепловом балансе ею пренебрегают.

Суммарная величина часового расхода теплоты на поддержание рабочей температуры электролита в электролитических ваннах:

$$Q_{\text{раб}} = Q_2 + Q_3 - Q_4. \quad (3.4)$$

Реальное количество теплоты, расходуемое при работе ванн, больше рассчитанного по уравнениям (3.3) и (3.4) вследствие его потерь в трубопроводах, которые могут достигать 10 %.

В том случае, когда количество теплоты, выделяющееся при прохождении электрического тока, больше количества теплоты, рассеивающегося в окружающую среду, ванну необходимо охлаждать с помощью змеевиков или водяных рубашек, пропуская через них холодную воду /19, 20/.

Результаты тепловых расчётов для каждой из ванн реконструируемого гальванического участка сводят в таблицу 3.13.

Таблица 3.13 — Тепловой баланс гальванической линии

Расход теплоты	Количество теплоты, кДж/ч	Приход теплоты	Количество теплоты, кДж/ч
Технологическая ванна			
На пуск ванны Теплота Q_p для разогрева электролита и корпуса ванны Потери теплоты q_1 через стенки ванны Потери теплоты q_2 на испарение электролита		Тепловая энергия, подаваемая с теплоносителем	
Рабочий период Потери теплоты Q_2 в окружающую среду Унос теплоты Q_3 с деталями и подвесками		Тепловая энергия тока (джоулева теплота) Тепловая энергия, подаваемая с теплоносителем	
Итого		Итого	

3.3.3 Расход пара

Расход пара складывается из количества пара на разогрев раствора в ванне и на поддержание рабочей температуры.

Согласно работам [9, 17], расход пара на разогрев равен

$$P_{\text{раз}} = V_{\text{эл}} \cdot k_1 \cdot n \cdot \tau / 100,$$

где $V_{\text{эл}}$ — объём электролита в ванне, л;

k_1 — норма расхода пара на разогрев 100 л раствора, кг/ч;

n — количество ванн;

τ — время разогрева, ч; принимается в зависимости от объёма электролита и давления пара в пределах от 0,5 до 2 ч.

Расход пара на поддержание рабочей температуры раствора:

$$P_{\text{под}} = V_{\text{эл}} \cdot k_2 \cdot n \cdot \tau_1 / 100,$$

где k_2 — норма расхода пара на поддержание рабочей температуры раствора в ванне ёмкостью 100 л, кг/ч;

τ_1 — время работы ванны (за исключением времени разогрева), ч.

Примерные величины норм расхода пара на разогрев и поддержание рабочей температуры раствора в ванне ёмкостью 100 л в зависимости от

температуры (при давлении пара 3 атм.) приведены в приложении Г (таблица Г. 9) /9/.

Общую потребность пара для производственных нужд приводят в виде таблицы 3.14.

Таблица 3.14 — Расчёт расхода пара

Наименование ванн-потребителей пара	Количество ванн	Температура нагрева, °С	Объём электролита, л	Расход пара в период разогрева, кг/ч	Расход пара на рабочий период, кг/ч	Число часов работы оборудования	Расход пара, кг	
							в сутки	в год

Для электролитических ванн, например для ванны электрохимического обезжиривания, расход пара при работе ванны уменьшается на величину, пропорциональную джоулевой теплоте $Q_{дж}$, выделяемой при прохождении через раствор электрического тока:

$$Q_{дж} = \frac{I \cdot U \cdot \tau}{573},$$

где I — сила тока, подаваемого на ванну, А;

U — напряжение на ванне, В;

τ — время прохождения тока, ч.

4 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РАЗДЕЛУ «ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ»

4.1 РАСЧЁТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЙ ВАННЕ

Напряжение непосредственно связано с удельным расходом электроэнергии и поэтому оценка вклада его составляющих позволяет найти пути экономии электроэнергии. Величина общего напряжения на электролитической ванне позволяет правильно подобрать источник постоянного тока.

Напряжение на электролитической ванне:

$$U = \varepsilon_a^p - \varepsilon_k^p + \eta_a - \eta_k + \Delta U_{эл-т} + \Delta U_{перф} + \Delta U_{\delta} + \Delta U_{эл-\delta} + \Delta U_{конт}, \quad (4.1)$$

где ε_a^p и ε_k^p — равновесные потенциалы анода и катода в электролите, соответственно, В;

η_a и η_k — перенапряжения для анодной и катодной реакции, соответственно, В;

$\Delta U_{эл-т}$ — падение напряжения в электролите, В;

$\Delta U_{перф}$ — падение напряжения в перфорации барабана (колокола), В;

ΔU_{δ} — падение напряжения в диафрагме, В;

$\Delta U_{эл-\delta}$ — падение напряжения в электродах, В;

$\Delta U_{конт}$ — падение напряжения в контактах, проводниках, шинах, штангах, подвесках и других участках внешней цепи, В;

Напряжение представляет собой сумму величин составляющих, включая катодный и анодный потенциалы, а также катодное и анодное перенапряжения. Следует учитывать, что анодные и катодные потенциалы — величины относительные, а их цифровые значения определяются выбранным электродом сравнения. Поэтому первой составляющей является разность равновесных потенциалов $\varepsilon_a^p - \varepsilon_k^p$.

Знак «минус» перед катодным перенапряжением соответствует его определению как разности величин потенциала электрода под током и его равновесным потенциалом

$$\eta_k = \varepsilon_k^j - \varepsilon_k^p; \quad \eta_a = \varepsilon_a^j - \varepsilon_a^p, \quad (4.2)$$

согласно которому $\eta_a > 0$ и $\eta_k < 0$. Если же принимать за перенапряжение абсолютный сдвиг анодного или катодного потенциалов под током от равновесного значения, то перед величиной η_k ставится знак «плюс».

Учитывая уравнения (4.2), первые четыре составляющие напряжения могут быть представлены в виде разности потенциалов электродов под током:

$$\varepsilon_a^j - \varepsilon_k^j = \varepsilon_a^p - \varepsilon_k^p + \eta_a - \eta_k.$$

Тогда общее напряжение на ванне будет равно

$$U = \varepsilon_a^j - \varepsilon_k^j + \Delta U_{эл-т} + \Delta U_{перф} + \Delta U_{\delta} + \Delta U_{эл-\delta} + \Delta U_{конт}. \quad (4.3)$$

Для нахождения величин потенциалов электродов под током необходимо воспользоваться катодными и анодными поляризационными кривыми, полученными в реальных условиях. Для многих электродных процессов они приведены в справочной литературе. Используя поляризационную кривую, по известной величине рабочей плотности тока (анодной или катодной) определяют величину потенциала, которую подставляют в формулу (4.3). В случае отсутствия поляризационных кривых можно рассчитать разность равновесных потенциалов электродов и перенапряжения анодной и катодной реакции.

4.1.1 Расчёт разности равновесных потенциалов электродов

Равновесный анодный и катодный потенциалы можно рассчитать, используя уравнение Нернста. Тогда разность равновесных потенциалов равна

$$\varepsilon_a^p - \varepsilon_k^p = \varepsilon_a^o + \frac{2,3 \cdot R \cdot T}{z \cdot F} \lg \frac{a_{Ox1}}{a_{Red1}} - \varepsilon_k^o - \frac{2,3 \cdot R \cdot T}{z \cdot F} \lg \frac{a_{Ox2}}{a_{Red2}},$$

где ε_a^o и ε_k^o — стандартные потенциалы анода и катода, соответственно, В;

a_{Ox} и a_{Red} — активность окисленной и восстановленной форм вещества, участвующего в электродной реакции.

Активность вещества:

$$a = m \cdot \gamma,$$

где m — молярная концентрация;

γ — средний коэффициент активности. Активность металла принимают равной 1.

Для электродных процессов, в которых анодная и катодная реакции взаимно противоположны, например, в случае нанесения электролитических покрытий с использованием растворимого анода и близкими катодными и анодными выходами по току, разность равновесных потенциалов анода и катода равна нулю.

Стандартные потенциалы и средние коэффициенты активности некоторых ионов приведены в работах /25 – 27/.

Если величина коэффициентов активности потенциалопределяющих ионов неизвестна, то пользуются средним коэффициентом активности электролита. В этом случае отклонение расчётных величин потенциалов электродов от истинных может достигать нескольких десятков милливольт.

Если электролит сложен по составу, имеет высокую концентрацию солей и активности его компонентов неизвестны, то расчёт проводят, заменяя активность молярной концентрацией.

Величину ε^p можно рассчитать, используя уравнение Гиббса-Гельмгольца:

$$\varepsilon^p = \frac{\Delta H}{z \cdot F} - T \frac{dE}{dT},$$

где ΔH — изменение энтальпии системы в процессе электродной реакции, Дж/моль;

dE/dT — температурный коэффициент ЭДС, который можно найти по изменению энтропии ΔS , Дж/(моль·К),

$$\frac{dE}{dT} = \frac{\Delta S}{z \cdot F}.$$

Изменение термодинамических функций для данной реакции подсчитывают обычным способом: из суммы величин для полученных веществ вычитают сумму величин для исходных веществ. Величины изменения энтальпии, энтропии и температурные коэффициенты ЭДС приведены в справочной литературе /25 – 27/.

При расчёте ε^p с использованием уравнения Гиббса-Гельмгольца вводится ряд допущений:

1) предполагается, что отношение активностей потенциалопределяющих ионов близко к единице;

2) не учитывается влияние температуры на изменение энтальпии и энтропии.

Равновесные потенциалы анода и катода для ванн электрохимического обезжиривания рассчитывают по следующим формулам:

$$\begin{aligned} \varepsilon_a^p = \varepsilon_{\text{OH}^-/\text{O}_2}^p &= \varepsilon_{\text{OH}^-/\text{O}_2}^o - \frac{RT}{zF} \ln a_{\text{OH}^-} = \varepsilon_{\text{OH}^-/\text{O}_2}^o - \frac{2,3RT}{zF} \lg a_{\text{OH}^-} = \\ &= 1,23 + 0,059 \lg a_{\text{H}^+} = 1,23 - 0,059 \text{pH}; \end{aligned}$$

$$\varepsilon_k^p = \varepsilon_{\text{H}^+/\text{H}_2}^p = \varepsilon_{\text{H}^+/\text{H}_2}^o + \frac{RT}{zF} \ln a_{\text{H}^+} = \frac{2,3RT}{zF} \lg a_{\text{H}^+} = 0,059 \lg a_{\text{H}^+} = -0,059 \text{pH}.$$

Как следует из приведённых соотношений, разность равновесных электродных потенциалов анода и катода при любых величинах pH равна 1,23 В.

4.1.2 Расчёт перенапряжения

Величины перенапряжений для анодных и катодных реакций можно определить по экспериментальным поляризационным кривым при заданной плотности тока.

Рассчитать перенапряжения η_a и η_k можно, используя их связь с током обмена j_o и плотностью поляризующего тока j_k ,

$$\begin{aligned} \eta_k &= \frac{R \cdot T}{\alpha \cdot n \cdot F} \ln j_o - \frac{R \cdot T}{\alpha \cdot n \cdot F} \ln j_k = \frac{2,3 \cdot R \cdot T}{\alpha \cdot n \cdot F} \lg \frac{j_o}{j_k}; \\ \eta_a &= -\frac{R \cdot T}{\beta \cdot n \cdot F} \ln j_o + \frac{R \cdot T}{\beta \cdot n \cdot F} \ln j_a = -\frac{2,3 \cdot R \cdot T}{\beta \cdot n \cdot F} \lg \frac{j_o}{j_a}, \end{aligned} \quad (4.4)$$

где α — коэффициент переноса катодной реакции;

β — коэффициент переноса анодной реакции.

Токи обмена и коэффициенты переноса для некоторых электрохимических систем приведены в справочной литературе [25, 27].

Уравнения (4.4) применимы для одностадийных реакций разряда или ионизации. Перенапряжение должно быть не слишком мало ($j \gg j_o$).

Величину анодного и катодного перенапряжения для ванн электрохимического обезжиривания можно ориентировочно вычислить, используя уравнение Тафеля:

$$\eta_a = -a_1 - b_1 \lg j_a; \quad \eta_k = a_2 + b_2 \lg j_k;$$

$$a = \frac{2,3 \cdot R \cdot T}{\alpha \cdot n \cdot F} \lg j_0; \quad b = -\frac{2,3 \cdot R \cdot T}{\alpha \cdot n \cdot F};$$

$$\eta_a = -\frac{2,3 \cdot R \cdot T}{(1-\alpha) \cdot n \cdot F} \lg j_0 + \frac{2,3 \cdot R \cdot T}{(1-\alpha) \cdot n \cdot F} \lg j_a; \quad \eta_k = \frac{2,3 \cdot R \cdot T}{\alpha \cdot n \cdot F} \lg j_0 - \frac{2,3 \cdot R \cdot T}{\alpha \cdot n \cdot F} \lg j_k,$$

где α — коэффициент переноса катодной реакции;

R — универсальная газовая постоянная, Дж/К·моль;

F — постоянная Фарадея, А·ч/г-экв;

T — температура электролита, К;

a — постоянная, которая зависит от материала катода или анода и состояния поверхности электрода (обычно находится в пределах от минус 0,1 до минус 1,5 В);

b — постоянная, которая близка к 0,12 В.

Величины постоянных a и b в зависимости от материала электрода и температуры приведены в работах /25, 26/. Следует отметить, что в литературных источниках /25, 26/ константы a и b получены при отсутствии в электролитах добавок ПАВ. Поэтому использование этих данных в расчётах для электролитов с добавками может привести к существенным ошибкам.

Большие погрешности при расчёте перенапряжений электродных реакций обусловлены:

1) существенной зависимостью их от природы и чистоты электродного материала;

2) наличием в электролите примесей и добавок посторонних катионов и анионов, растворимых газов, а также непостоянством коэффициента переноса;

3) влиянием геометрических факторов: истинная площадь электродной поверхности изменяется в процессе электролиза;

4) влиянием побочных реакций и адсорбционных процессов — электроосаждением примесей, внедрением водорода в металл катода, адсорбцией органических и неорганических молекул и ионов, которые изменяют свойства (состояние) поверхности;

5) неравенством катодного и анодного выходов по току 100 %.

Поэтому для получения надёжного результата лучше воспользоваться катодными и анодными поляризационными кривыми, полученными в реальных условиях.

4.1.3 Падение напряжения в электролите

Падение напряжения в электролите зависит от состава электролита и от конструкции электролизёра.

Для плоских, параллельно расположенных электродов:

$$\Delta U_{эл-т} = I_{cp} \cdot R_{эл-т}; \quad (4.5)$$

$$R_{эл-т} = \rho \frac{l}{S}; \quad \Delta U_{эл-т} = I_{cp} \cdot \rho \frac{l}{S} = j_{cp} \cdot \rho \cdot l;$$

$$\Delta U_{эл-т} = \frac{j_{cp} \cdot l}{2 \cdot n \cdot \chi},$$

где I_{cp} — средний ток на ванне, А;

j_{cp} — средняя плотность тока, А/см²;

$R_{эл-т}$ — сопротивление электролита, Ом;

l — расстояние между электродами, см;

S — средняя площадь поперечного сечения электролита, см²;

ρ — удельное сопротивление электролита, Ом·см;

χ — удельная электропроводность электролита, См·см⁻¹;

n — количество катодных штанг.

Расстояние l между катодом и анодом равно расстоянию ω_2 , принятому при расчёте внутренней ширины ванны (подраздел 3.1.6.2).

Средняя плотность тока:

$$j_{cp} = \sqrt{j_a \cdot j_k},$$

где j_a и j_k — анодная и катодная плотность тока, соответственно, А/см².

Величину удельной электропроводности электролита с точностью, достаточной для инженерных расчётов, принимают по справочным данным /5/ или рассчитывают, пользуясь правилом аддитивности:

$$\chi = \sum \chi_i \frac{C_i}{\sum C_i},$$

где C_i — концентрация i -го компонента, моль/л;

χ_i — удельная электропроводность i -го компонента электролита, которую находят в справочниках /25, 27/ в зависимости от концентрации и температуры электролита.

Часто основным или побочным продуктом электролиза является газ (водород, кислород, хлор), который частично или целиком заполняет сечение электролита. Это явление называется газонаполнением и количественно оценивается отношением объёма газа, распределённого в электролите в виде пузырьков, к общему объёму газонаполненного электролита.

Степень влияния газонаполнения на величину падения напряжения в электролите определяется соотношением скорости образования и роста пузырьков, а также скоростью удаления их из электролита. Газонаполнение растёт при увеличении плотности тока, высоты электрода и по мере уменьшения межэлектродного расстояния. Кроме того, на газонаполнение влияют материал и конструкция электродов, природа газа и электролита, давление и другие факторы.

В результате газонаполнения электролита его сопротивление увеличивается, и поэтому в формулу (4.5) вводят дополнительно коэффициент газонаполнения α :

$$\Delta U_{эл-т}^2 = \Delta U_{эл-т} (1 + \alpha) = I \cdot R_{эл-т} (1 + \alpha) = I \cdot \rho \frac{l}{S} (1 + \alpha).$$

Для большинства гальванических процессов при катодных и анодных выходах по току металла не менее 80 % величина α не превышает 0,02 и влияние газонаполнения при расчётах не учитывается [5, 19].

Если выход по току металла меньше 80 %, например, при хромировании, то величина газонаполнения α может быть принята равной 0,2 - 0,3.

Наибольшие трудности вызывает расчёт величины падения напряжения в электролите для барабанных и колокольных гальванических ванн с насыпным подвижным катодом.

Наиболее приемлемым является способ расчёта, согласно которому за катодную поверхность принимают перфорированную поверхность барабана или колокола, погружённую в электролит.

В качестве катодной необходимо брать не всю поверхность барабана, а только ту её часть, которая находится в зоне электрических полей между анодами и центральным сечением насыпного катода. Для барабана или колокола падение напряжения в электролите рассчитывают по формуле

$$\Delta U_{эл-т} = I_{ср} \cdot \rho \frac{l}{S},$$

где S — средняя площадь поперечного сечения электролита, м^2 , $S = 0,5 \cdot (S_1 + S_2)$, причём S_1 — площадь анодов со стороны, обращенной к барабану, а S_2 — площадь перфорированной части барабана, ограниченная силовыми электрическими линиями (площадь S_2 составляет две трети полной площади стенок барабана);

l — межэлектродное расстояние, которое вычисляют как среднее арифметическое между минимальным l_{δ} и максимальным l_{δ} расстояниями от анода до деталей:

$$l = 0,5 \cdot (l_{\delta} + l_{\delta}).$$

Условно l можно принять равным расстоянию ω_2 между анодом и ближайшим краем барабана (подраздел 3.1.7.2).

4.1.4 Падение напряжения в перфорированных стенках барабанов и колоколов

Падение напряжения в перфорированных стенках барабанов и колоколов:

$$\Delta U_{\text{перф}} = \frac{I \cdot m \cdot 100}{\chi \cdot S_{\delta} \cdot P},$$

где I — ток, проходящий через барабан, А;

m — толщина стенок барабана или колокола, принятая при расчёте их наружных размеров в подразделах 3.1.7.1 и 3.1.7.4, соответственно, см;

S_{δ} — площадь поверхности боковых стенок барабана или колокола, см^2 ;

P — степень перфорации барабана или колокола, %.

Степень перфорации принимают в пределах 15 – 25 % /19/.

4.1.5 Падение напряжения в диафрагме

Полное уравнение для расчёта падения напряжения в диафрагме:

$$\Delta U_{\delta} = I \cdot \rho \cdot \frac{l}{S} = I \cdot \rho \cdot \frac{\delta \cdot \beta^2}{n} \cdot \frac{1}{S},$$

где δ — толщина диафрагмы, м;

β — коэффициент извилистости пор, то есть отношение средней длины пор к толщине диафрагмы ($\beta = 1,5$);

n — объёмная пористость диафрагмы, т.е. отношение объёма пор к объёму диафрагмы ($n = 0,5$);

S — площадь диафрагмы с одной стороны, м^2 .

Расчёт упрощается, если принять, что выражение $\frac{\delta \cdot \beta^2}{n}$ есть эквивалентная толщина диафрагмы $l_э$, то есть

$$\Delta U_э = I \cdot \rho \cdot \frac{l_э}{S}.$$

Для расчёта $l_э$ вводится понятие относительного электрического сопротивления L , которое показывает, во сколько раз электрическое сопротивление диафрагмы, пропитанной электролитом, больше сопротивления слоя электролита той же толщины:

$$l_э = L \cdot \delta,$$

то есть диафрагма имеет такое же электрическое сопротивление, как и слой электролита, увеличенный в L раз.

Численные значения относительного электрического сопротивления для некоторых из диафрагменных материалов составляют:

- мипласт 3,5 – 5,0;
- поровинил 2,5 – 3,0;
- асбест 1,2 – 1,5.

4.1.6 Падение напряжения в электродах

В металлических электродах падение напряжения незначительно, тогда как в неметаллических электродах (например, графитовых или угольных) достигает существенных величин.

Падение напряжения в погружённой в электролит части нерастворимого электрода:

$$\Delta U_{эл-э} = \frac{I}{2} \rho_m \frac{l}{S}, \quad (4.6)$$

где ρ_m — удельное сопротивление металла, Ом·м.

Физический смысл половинной токовой нагрузки ясен, так как плотность тока по высоте погруженной в электролит части электрода уменьшается от I/S до 0 и составляет в среднем $0,5 I/S$.

Падение напряжения в растворимых анодах рассчитывают с учётом уменьшения их сечения от полного до минимального. В формулу (4.6) подставляют усреднённую площадь сечения анода за весь технологический цикл.

Падение напряжения в непогружённой части электрода:

$$\Delta U'_{эл-д} = I \cdot \rho_m \frac{l}{S}.$$

При этом предполагают равномерное распределение тока по сечению электрода. Наибольшее падение напряжения происходит в насыпных электродах, однако, его расчёт затруднён из-за неопределённой величины переходного электрического сопротивления в многочисленных контактах. В барабанных и колокольных электролизёрах с переменными контактами между самими деталями добавляются также сопротивления переменных контактов токоподводов с деталями. В этих случаях целесообразно использовать данные, полученные в производственных условиях.

4.1.7 Падение напряжения в контактах и токоподводах

В величину $\Delta U_{конт}$ входит падение напряжения не только в контактах, но и в токоподводах всех видов — в подвесках, шинах, штангах, штырях, проводах, кабелях и др. Падение напряжения во внешней цепи электролизёра зависит от конструкции и материала токоведущих элементов, типа контакта (разъёмный или неразъёмный, точечный или плоскостный), от давления между контактными поверхностями. Поэтому его расчёт связан с рядом трудностей и ненадёжен.

При расчёте напряжения можно ограничиться условной величиной падения напряжения в контактах порядка 0,1 - 0,2 В или принять его равным 10 % от суммарного напряжения электролизёра.

Все составляющие напряжения на электролизёре сводят в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 — Напряжение на электролизёре

Составляющие напряжения	Величина составляющих	
	В	%
Разность потенциалов анода и катода под током		
Падение напряжения в электролите		
Падение напряжения в перфорации барабана		
Падение напряжения в электродах		
Падение напряжения в контактах, проводниках, шинах, штангах, подвесках		
Сумма		100

При расчёте напряжения электролизёра принимают некоторые допущения. Например, процесс электролиза условно считают стационарным, хотя на практике это условие не всегда реализуется; расчёты проводят исходя из предположения о равномерности распределения плотности тока по поверхности электродов, которое также не соблюдается.

4.2 ВЫБОР ИСТОЧНИКА ТОКА И ЕГО ОПИСАНИЕ

На основании рассчитанных величин напряжения и силы тока на гальванической ванне, согласно работам /4, 13, 28/, выбирают источник питания — выпрямительный агрегат.

В связи с возросшими требованиями к качеству гальванопокрытий и с развитием новых комплектующих изделий (сильноточных тиристоров, микросхем) наиболее перспективны выпрямители типов ТЕ, ТЕР, ТВ, ТВР и ТВИ (Т — тиристорный, Е — естественное охлаждение тиристоров, В — водяное охлаждение тиристоров, Р — реверсивный, И — импульсный).

В выпрямителях этой серии существенно улучшены технические показатели:

- 1) повышена точность стабилизации напряжения и тока до $\pm 3\%$, а плотности тока — до $\pm 6\%$;
- 2) снижена пульсация выпрямленного тока;
- 3) предусмотрено дистанционное и программное управление выпрямителями;
- 4) повышен КПД на 1 – 1,5 %;
- 5) уменьшены габаритные размеры;
- 6) унифицированы схемные и конструктивные решения агрегатов и их узлов, что улучшило ремонтоспособность;
- 7) диапазон ручного регулирования тока и напряжения от 10 до 100 %;
- 8) предусмотрена автоматическая и ручная смена полярности тока;
- 9) предусмотрена отдельная установка значений постоянного тока и напряжения каждого направления;
- 10) выпрямители можно устанавливать непосредственно около ванн прямо на пол;

11) они не боятся влажности воздуха до 80 %, но нуждаются в периодической просушке и возобновлении пропитки лаком обмоток трансформатора, дросселя.

Основные технические данные тиристорных преобразователей серии ТЕ, ТЕР, ТВ, ТВР и ТВИ приведены в приложении Д (таблица Д. 1).

4.3 РАСЧЁТ ШИН

Для подвода постоянного тока к гальваническим ваннам применяют медные, алюминиевые и железные шины. Шины собирают из отдельных полос длиной 3,5 и 5,5 м, соединённых внахлёстку или при помощи болтовых накладок. При выборе шин следует иметь в виду, что широкие и тонкие шины лучше охлаждаются, чем узкие и толстые, вследствие чего при одинаковом сечении более широкие шины допускают большую удельную плотность тока. При соединении шин контактируемые поверхности должны быть тщательно очищены и предохранены от окисления. Давление в месте контакта шин должно быть порядка $5 \cdot 10^7$ Па. Следует отметить, что железные шины используются для тока силой не более 400 А, а алюминиевые шины следует обязательно соединять сваркой, и места стыков необходимо покрыть медью или оловом.

Расчёт сечения шин, применяемых в гальванических цехах для подведения тока к ваннам, осуществляется по формуле

$$S = \frac{2 \cdot l \cdot I \cdot \rho}{\Delta U},$$

где S — сечение шины, мм^2 ;

I — сила тока на ванне, А;

l — длина шины, м;

ρ — удельное сопротивление материала шин, $\text{Ом} \cdot \text{мм}^2 \cdot \text{м}^{-1}$;

ΔU — падение напряжения в шинах, В.

Падение напряжения в шинах принимается равным 10 % от величины напряжения на электролизёре (таблица 4.1).

Удельное сопротивление меди, алюминия и железа при 18 °С составляет ($\text{Ом} \cdot \text{мм}^2 \cdot \text{м}^{-1}$):

$$\rho_{\text{Cu}}^{18} = 1,55 \cdot 10^{-2}; \quad \rho_{\text{Al}}^{18} = 2,41 \cdot 10^{-2}; \quad \rho_{\text{Fe}}^{18} = 8,7 \cdot 10^{-2}.$$

При прохождении электрического тока наблюдается разогрев шины приблизительно до 40 °С. Поэтому удельное сопротивление материала шины

$$\rho = \rho_{18} \cdot [1 + \alpha \cdot (t - 18)],$$

где α — температурный коэффициент сопротивления материала шины.

Температурные коэффициенты для меди, алюминия и железа составляют, соответственно:

$$\alpha_{\text{Cu}} = 0,00445 ; \quad \alpha_{\text{Al}} = 0,00423 ; \quad \alpha_{\text{Fe}} = 0,0045 .$$

По рассчитанному значению сечения выбирают шину по ГОСТ 5883-89, после чего определяют проходную плотность тока через неё

$$j_{\text{пр}} = \frac{I}{S_{\text{выб}}},$$

где $S_{\text{выб}}$ — выбранное сечение шины, мм².

Полученную величину проходной плотности тока сравнивают с допустимой для выбранного материала шины, приведенной в справочной литературе. Если она меньше допустимой величины, то сечение шины выбрано верно.

4.4 РАСХОД ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Суммарный суточный расход электроэнергии складывается из расхода электроэнергии на следующие операции:

- 1) первоначальный разогрев электролита и корпуса ванны с помощью электрических нагревателей;
- 2) поддержание рабочей температуры электролита;
- 3) работа электродвигателей;
- 4) электролиз;
- 5) сушка деталей;
- 6) освещение;
- 7) вентиляция /17, 19/.

Расход электроэнергии (кВт·ч) на разогрев электролита и корпуса ванны:

$$W_1 = \frac{Q_p}{3600},$$

где Q_p — количество теплоты, необходимое для разогрева электролита и корпуса ванны, кДж, рассчитанное в подразделе 3.3.1.

Мощность электронагревателя:

$$N = \frac{W_1}{\tau},$$

где τ — время разогрева электролита, ч, принимается равным 1 ч.

Расход электроэнергии (кВт·ч) на поддержание температуры электролита:

$$W_2 = \frac{Q_{раб}}{3600},$$

где $Q_{раб}$ — количество тепла на поддержание рабочей температуры, кДж, рассчитанное в подразделе 3.3.2.

Расход электроэнергии при работе выпрямителей

$$W_3 = \frac{\sum I \cdot U}{1000 \cdot \eta_0} \cdot T_d \cdot z,$$

где $\sum I$ — суммарная сила тока на одноимённых ваннах, А;

U — рабочее напряжение на ваннах (таблица 4.1), В;

η_0 — КПД источника постоянного тока;

$T_d \cdot z$ — действительный годовой фонд времени оборудования, ч.

Расход электроэнергии при работе двигателей:

$$W_4 = P_{двиг} \cdot T_d \cdot z,$$

где $P_{двиг}$ — мощность всех электродвигателей, кВт.

Расход электроэнергии при сушке деталей:

$$W_5 = P_{суш} \cdot T_d \cdot z,$$

где $P_{суш}$ — мощность всех сушильных шкафов, кВт.

Расход электроэнергии на освещение:

$$W_6 = P_{осв} \cdot T_d \cdot z,$$

где $P_{осв}$ — мощность на освещение, кВт.

Мощность, необходимая на освещение:

$$P_{осв} = 0,015 \cdot S,$$

где 0,015 — удельная норма мощности на освещение, кВт/м²;

S — площадь гальванического участка, м²

Расход электроэнергии на вентиляцию

$$W_7 = P_{вент} \cdot T_d \cdot z,$$

где $P_{вент}$ — мощность всех вентиляторов, работающих на участке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методическое руководство для проведения в НИИ патентных исследований при курсовом и дипломном проектировании /Новочеркасск: Новочерк. политехн. ин-т. – 1982.– 34 с.
2. Грилихес С.Я., Тихонов К.И. Электролитические и химические покрытия. Теория и практика. – Л.: Химия, 1990.– 288 с.
3. Гальванотехника: Справ. изд. /Ф.Ф. Ажогин, М.А. Беленький, И.Е. Галль и др.– М.: Металлургия, 1987.– 736 с.
4. Гальванические покрытия в машиностроении: Справочник: В 2-х т. Т. 1, 2 /Под ред. М.А. Шлугера, Л.Д. Тока. – М.: Машиностроение, 1985.– 248 с.
5. Ямпольский А.М., Ильин В.А. Краткий справочник гальванотехника.– 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1981.– 269 с.
6. Грилихис С.Я. Обезжиривание, травление и полирование металлов.– Л.: Машиностроение, 1977.– 112 с.
7. Вячеславов П.М., Шмелёва Н.М. Контроль электролитов и покрытий.– Л.: Машиностроение, 1985.– 97 с.
8. Лайнер В.И., Кудрявцев Н.Т. Основы гальваностегии.– М.: Гос. науч.-техн. изд-во, 1957.– Ч. 2.– 588 с.
9. Виноградов С.С. Организация гальванического производства. Оборудование, расчёт производства, нормирование /Под ред. В.Н. Кудрявцева.– М.: Глобус, 2002.– 208 с.
10. Оборудование цехов электрохимических покрытий: Справ. /В.М. Александров, Б.В. Антонов, Б.И. Гендлер и др.; Под ред. П.М. Вячеславова.– Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987.– 309 с.
11. Гибкие автоматизированные гальванические линии: Справ. /В.Л. Зубченко, В.М. Рогов и др.; Под общ. ред. В.Л. Зубченко.– М.: Машиностроение, 1989.– 672 с.
12. Гибкое автоматизированное производство /Под ред. С.А. Майорова, Г.А. Орловского.– Л.: Машиностроение, 1983.– 454 с.
13. Дасоян М.А., Пальмская Н.Я. Оборудование цехов электрохимических покрытий.– Л.: Машиностроение, 1979.– 287 с.
14. Балакай В.И., Ионкин А.И., Копин А.В., Шевченко В.В. Методические указания к курсовому проекту по дисциплине «Оборудование и основы проектирования электрохимических производств» / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т.– Новочеркасск: ЮРГТУ, 2002.– 30 с.

15. Усанкин Н.Г. Автоматические линии с программным управлением.— М.: Машиностроение, 1967.— 84 с.
16. Кукоз Ф.И., Селиванов В.Н. Методические указания к дипломному проектированию цехов гальванических покрытий /Новочерк. политехн. ин-т. — Новочеркасск: НПИ, 1988.— 33 с.
17. Вайнер Я.В., Дасоян М.А. Технология электрохимических покрытий: Учеб. для химических техникумов. 2-е изд.— Л.: Машиностроение, 1972.— 464 с.
18. ГОСТ 23738–85. Ванны автооператорных линий для химической, электрохимической обработки поверхности и получения покрытий. Основные параметры и размеры. — М.: Изд-во стандартов, 1985. — 19 с.
19. Балакай В.И., Ионкин А.И., Копин А.В. и др. Методические указания к курсовому проекту по дисциплине «Оборудование и основы проектирования электрохимических производств». Ч.2. Балансы ванн в гальваническом производстве /Юж.-Рос. гос. техн. ун-т.— Новочеркасск: ЮРГТУ, 2004.— 51 с.
20. Кукоз Ф.И., Селиванов В.Н. Методические указания к дипломному проектированию цехов гальванических покрытий. Материальный и энергетический расчёты /Новочерк. политехн. ин-т. — Новочеркасск: НПИ, 1989. — 16 с.
21. Павлов К.Ф., Романков П.Г. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии — 20-е изд. — Л.: Химия. Ленингр. отд-ние, 1987. — 576 с.
22. Гороновский И.Т. Краткий справочник по химии. — 4-е изд. перераб. и доп. — Киев: Наукова думка, 1974 — 984 с.
23. Справочник химика Т.3 / Под ред. Б.П. Никольского — М.: Химия, 1964. — 1006 с.
24. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты в химической технологии.— М.: Химия, 1973.— 752 с.
25. Справочник по электрохимии /Под ред. А.М. Сухотина.— Л.: Химия. Ленингр. отд-ние, 1981.— 436 с.
26. Антропов Л.И. Теоретическая электрохимия. — М.: Высш. шк., 1984. — 519 с.
27. Добош Р. Электрохимические константы: Справ. для электрохимиков /Под ред. Я.М. Колотыркина. — М.: Мир, 1980. — 365 с.
28. Агрегат выпрямительный ТЕ, ТВ, ТЭР, ТВР, ТВИ мощностью до 50 кВт. Техническое описание ИЖРФ 435211.026ТО, 1986.— 24 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Федеральное агентство по образованию

**Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования**

**«ЮЖНО-РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

(НОВОЧЕРКАССКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ)»

ФАКУЛЬТЕТ _____

КАФЕДРА _____

СПЕЦИАЛЬНОСТЬ _____

УТВЕРЖДАЮ:

Заведующий кафедрой _____

(Подпись)

(ФИО)

« ____ » _____ 200__ г.

ЗАДАНИЕ

на дипломный проект (работу)

Студенту

_____ (Фамилия, имя, отчество)
1. Тема _____ дипломного _____ проекта _____ (работы):

Тема дипломного проекта (работы) утверждена приказом ректора № _____ от _____ 200__ г.

2. Консультанты дипломного проекта (работы):

Наименование раздела, должность, ученая степень, ученое звание, ФИО

3. Исходные данные к дипломному проекту (работе)

4. Содержание пояснительной записки к дипломному проекту (работе)

5. Перечень графического материала

6. Срок сдачи студентом законченного дипломного проекта (работы) _____

7. Дата выдачи задания на дипломный проект (работу) _____

Руководитель

(Фамилия, имя, отчество)

(Подпись)

Задание принял к исполнению _____ 200...г.

(Дата)

(Подпись)

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица Б. 1 — Основные стандарты на эксплуатационные свойства
и характеристики гальванических покрытий

Основные свойства гальванических покрытий, подлежащие контролю	Номера Государственных стандартов
1	2
Физико-механические свойства	
Пористость	ГОСТ 9.302–88
Прочность сцепления с основой	ГОСТ 9.302–88
Сплошность	ГОСТ 9.302–88
Равномерность слоя	ГОСТ 9.302–88
Степень шероховатости	ГОСТ 9.301–86
Микротвёрдость	ГОСТ 22975–78
Защитные свойства и коррозионная стойкость	ГОСТ 9.302–88; ГОСТ 9.308–85
Внутренние напряжения	ГОСТ 9.302–88
Износостойкость	ГОСТ 9.302–88
Паяемость	ГОСТ 20485–75
Маслоёмкость	ГОСТ 9.302–88
Предел ползучести	ГОСТ 3248–81
Предел прочности	ГОСТ 27034–86
Прочность сварного соединения	ГОСТ 26007–83
Ударная прочность	ГОСТ 23046–78
Предел текучести	ГОСТ 27034–86
Ударная вязкость	ГОСТ 9454–78
Пластичность	ГОСТ 14019–80
Усталостная прочность	ГОСТ 26446–85
Оптико-декоративные свойства	
Отражающая способность	ГОСТ 9.302–88
Степень блеска	ГОСТ 9.306–85
Рельефная рисунчатость	ГОСТ 9.306–85
Декоративная текстура	ГОСТ 9.306–85
Декоративный цвет	ГОСТ 9.306–85
Электрические свойства	
Удельное электрическое сопротивление	ГОСТ 9.302–88
Переходное электрическое сопротивление	ГОСТ 9.302–88
Пробивное напряжение	ГОСТ 9.302–88

Продолжение таблицы Б. 1

1	2
Магнитные свойства	
Коэрцитивная сила	ГОСТ 8.377–80
Магнитная проницаемость	ГОСТ 8.377–80
Коэффициент гистерезиса	ГОСТ 8.377–80
Магнитный поток насыщения	ГОСТ 8.377–80
Удельная магнитная энергия	ГОСТ 8.377–80
Термические свойства	
Термостойкость	ГОСТ 21910–76
Предел ползучести	ГОСТ 10145–81
Микроструктурные свойства	
Состав покрытия	ГОСТ 9.302–88

Таблица Б. 2 — Укрупнённые нормы загрузки ванн при обработке деталей на подвесках

Норма загрузки ванн, м²/погонный метр штанги			
Вид покрытия	Глубина ванны, м		
	0,6	0,8	1,0
1	2	3	4
<i>Щелочные и цианидные электролиты</i>			
Цинкование и кадмирование мелких деталей	0,5	0,6–0,7	0,7–0,8
средних деталей	0,7	0,8	0,9
крупных деталей	0,4	0,5	0,7
Меднение	0,5	0,6–0,7	0,7–0,8
Серебрение	0,4	0,5	0,6
Лужение	0,5	0,7	0,8
<i>Кислые электролиты</i>			
Никелирование, меднение	0,3–0,4	0,5–0,6	0,6–0,7
Цинкование и кадмирование, лужение	0,4–0,6	0,5–0,7	0,6–0,8
Хромирование декоративное	–	0,4–0,5	0,4–0,5
износостойкое	–	0,2–0,3	0,2–0,3
Анодирование защитно-декоративное	–	1,5	1,5–1,8
электроизоляционное и твёрдое	–	–	0,2–0,3
Электрополирование стали, меди, никеля, алюминия	–	0,2–0,3	–
Нанесение сплавов медь–цинк и олово–цинк	–	–	0,6–0,8
Нанесение сплава олово–висмут	–	0,7	0,6–0,8

Продолжение таблицы Б. 2

1	2	3	4
Нанесение сплава никель–кобальт	–	–	0,6–0,8
<i>Химическая обработка</i>			
Фосфатирование стали	–	–	1,2–1,5
Оксидное и оксидно-фосфатное покрытие алюминия	–	–	1,2–1,5
Оксидирование стали, меди насыпью	–	–	8,0–10,0

Таблица Б. 3 — Укрупнённые нормы загрузки ванн при обработке деталей насыпью

Норма загрузки ванн, м ²					
Вид покрытия	Объём барабана, колокола, л				
	2,5	10	20	50	80
<i>Щелочные и цианидные электролиты</i>					
Цинкование в колоколах	–	–	1	1,5	2
в барабанах	–	–	1,5	3	4
Меднение в колоколах	–	–	1	1,5	2
Кадмирование в колоколах	–	0,5	1	1,5	2
в барабанах	–	1	1,5	3	4
Серебрение в колоколах	0,2	0,5	1	1,5	2
в барабанах	–	1	1,5	3	4
Лужение в колоколах	–	0,5	1	1,5	2
<i>Кислые электролиты</i>					
Никелирование, меднение, цинкование и лужение в колоколах	–	–	1	1,5	–
Никелирование, меднение, цинкование в барабанах	–	–	1,5	3	4

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблица В. 1 — Стандартные внутренние размеры гальванических ванн по ГОСТу 23738–85

Длина, мм	Ширина, мм	Высота, мм	Полная вместимость ванны (ступени), л	
1	2	3	4	
320	320	320	33	
		400	41	
		500	51	
400	320	320	41	
		400	51	
		500	64	
	400	320	51	
		400	64	
		500	80	
500	320	320	51	
		400	64	
		500	80	
	400	320	64	
		400	80	
		500	100	
	500	320	80	
		400	100	
		500	125	
630	400	320	81	
		500	126	
		800	202	
	500	320	101	
		500	158	
		630	198	
		800	252	
	630	630	320	127
			500	198

Продолжение таблицы В. 1

1	2	3	4	
630	630	800	318	
	800	320	161	
		500	252	
		800	403	
800	500	500	200	
		800	320	
		1000	400	
	630	500	252	
		800	403	
		900	450	
		1000	504	
	710	500	284	
		800	454	
		900	511	
		1000	568	
	800	500	320	
		800	512	
		1000	640	
	1000	500	800	400
			1000	500
1250			625	
1400			700	
630		800	504	
		1000	630	
		1250	788	
		1400	882	
710		800	568	
		1000	710	
		1250	888	
		1400	994	
800		800	640	
		1000	800	

Продолжение таблицы В. 1

1	2	3	4	
1000	800	1250	1000	
		1400	1120	
	900	800	720	
		1000	900	
		1250	1125	
		1400	1260	
	1000	800	800	
		1000	1000	
		1250	1250	
		1400	1400	
	1120	500	1000	560
			1250	700
1600			896	
630		1000	706	
		1250	882	
		1600	1129	
710		1000	795	
		1250	994	
		1600	1272	
800		1000	896	
		1250	1120	
		1600	1434	
900		1000	1008	
		1250	1260	
		1600	1613	
1000		1000	1120	
		1250	1400	
		1600	1792	
1120		1000	1254	
		1120	1405	
		1250	1568	
		1600	2007	

Продолжение таблицы В. 1

1	2	3	4
1250	500	1000	625
		1250	781
		1600	100
	630	1000	788
		1250	984
		1600	1260
	710	1000	888
		1250	1199
		1600	1420
	800	1000	1000
		1250	1250
		1600	1600
	900	1000	1125
		1250	1406
		1600	1800
	1000	1000	1250
		1250	1562
		1600	2000
	1120	1000	1400
		1120	1568
1250		1750	
1600		2240	
1500	630	1000	945
	1060	1000	1590
		1250	1988
1600	500	1000	800
		1250	1000
		1600	1280
	630	1000	1008
		1250	1260
		1600	1613

Продолжение таблицы В. 1

1	2	3	4
1600	710	1000	1136
		1250	1420
		1600	1818
	800	1000	1280
		1250	1600
		1600	2048
	900	1000	1440
		1250	1800
		1600	2304
	1000	1000	1600
		1250	2000
		1600	2560
	1120	1000	1792
		1120	2007
		1250	2240
		1600	2867
2000	630	1000	1260
		1250	1575
		1600	2016
		2000	2520
	710	1000	1420
		1250	1775
		1600	2272
		2000	2840
	800	1000	1600
		1250	2000
		1600	2560
		2000	3200
	900	1000	1880
		1250	2250
		1600	2880
		2000	3600

Продолжение таблицы В. 1

1	2	3	4	
2000	1000	1000	2000	
		1250	2500	
		1600	3200	
		2000	4000	
	1060	1800	3816	
	1120	1000	2240	
		1250	2800	
		1600	3584	
		1800	4032	
		2000	4480	
	1400	1000	2800	
		1250	3500	
		1600	4480	
		2000	5600	
	1600	1000	3200	
		1250	4000	
		1600	5120	
		2000	6400	
	2240	630	1000	1411
			1250	1764
1600			2258	
2000			2822	
2500			3528	
710		1000	1590	
		1250	1988	
		1600	2545	
		2000	3181	
		2500	3976	
800		1000	1792	
		1250	2240	
		1600	2867	
		2000	3584	

Продолжение таблицы В. 1

1	2	3	4
2240	800	2500	4480
	900	1000	2016
		1250	2520
		1600	3225
		2000	4032
		2500	5040
		1000	1000
	1250		2800
	1600		3584
	2000		4480
	2500		5600
	1120	1000	2509
		1120	2810
		1250	3136
		1600	4014
		2000	5018
		2500	6272
	1250	1000	2800
		1250	3500
		1600	4180
		2000	5600
		2500	7000
	1400	1000	3136
		1250	3920
		1600	5018
		2000	6272
		2500	7840
	1600	1000	3584
		1250	4480
		1600	5734
		2000	7169
		2500	8960

Продолжение таблицы В. 1

1	2	3	4
2500	630	1250	1969
		1600	2520
		2000	3150
		2500	3938
	710	1250	2219
		1600	2840
		2000	3550
		2500	4438
	800	1250	2500
		1600	3200
		2000	4000
		2500	5000
	900	1250	2812
		1600	3600
		2000	4500
		2500	5625
	1000	1250	3125
		1600	4000
		2000	5000
		2500	6250
	1120	1250	3500
		1600	4480
		2000	5600
		2500	7000
	1250	1250	3906
		1600	5000
		2000	6250
		2500	7812
1400	1250	4375	
	1600	5600	
	2000	7000	
	2500	8750	

Продолжение таблицы В. 1

1	2	3	4
2500	1600	1250	5000
		1600	6400
		2000	8000
		2500	10000
	2000	1250	6250
		1600	8000
		2000	10000
		2500	12500
3150	710	1250	2796
		1600	3578
		2000	4473
		2500	5591
	800	1250	3150
		1600	4032
		2000	5040
		2500	6300
	900	1250	3544
		1600	4536
		2000	5670
		2500	7088
	1000	1250	3938
		1600	5040
		2000	6300
		2500	7875
	1060	1800	6010
	1120	1120	3951
		1250	4410
		1600	5645
		1800	6300
		2000	7056
		2500	8820

Продолжение таблицы В. 1

1	2	3	4
3150	1250	1250	4922
		1600	6300
		2000	7875
		2500	9844
	1400	1250	5512
		1600	7056
		2000	8820
		2500	11025
	1600	1250	6300
		1600	8064
		2000	10080
		2500	12600
	2000	1250	7875
		1600	10080
		2000	12600
		2500	15750
4000	800	1250	4000
		1600	5120
		2000	6400
		2500	8000
	900	1250	4500
		1600	5760
		2000	7200
		2500	9000
	1000	1250	5000
		1600	6400
		2000	8000
		2500	10000
	1060	1250	5600
		1800	8000
		2240	10000

Продолжение таблицы В. 1

1	2	3	4
4000	1250	1250	6250
		1600	8000
		2000	10000
		2500	12500
	1400	1250	7000
		1600	8960
		2000	11200
		2500	14000
	1600	1250	8000
		1600	10240
		2000	12800
		2500	16000
	2000	1250	10000
		1600	12800
		2000	16000
		2500	20000
5000	800	1600	6400
		2000	8000
		2500	10000
	900	1600	7200
		2000	9000
		2500	11250
	1000	1600	8000
		2000	10000
		2500	12500
	1250	1600	10000
		2000	12500
		2500	15625
	1400	1600	11200
		2000	14000
		2500	17500

Продолжение таблицы В. 1

1	2	3	4
5000	1600	1600	12800
		2000	16000
		2500	20000
	2000	1600	16000
		2000	20000
		2500	25000
6300	800	1600	8064
		2000	10080
		2500	12600
	900	1600	9072
		2000	11340
		2500	14175
	1000	1600	10080
		2000	12600
		2500	15750
	1060	1800	12700
	1250	1600	12600
		2000	15750
		2500	19688
	1400	1600	14112
		2000	17640
		2500	22050
	1600	1600	16128
		2000	20160
		2500	25200
	1700	2800	30000
		3150	33600
	2000	1600	20160
		2000	25200
		2500	31500
8000	800	1600	10240
		2000	12800

Продолжение таблицы В. 1

1	2	3	4
8000	800	2500	16000
	900	1600	11520
		2000	14400
		2500	18000
	1000	1600	12800
		2000	16000
		2500	20000
	1250	1600	16000
		2000	20000
		2500	25000
	1400	1600	17920
		2000	22400
		2500	28000
	1600	1600	20480
		2000	25600
		2500	32000
	2000	1600	25600
		2000	32000
		2500	40000

Таблица В. 2 — Значения $W_{з/р}$, ΔW и W_6 , мм, для ванн различной длины

Длина ванны, мм	Ширина стойки $W_{з/р}$, мм		ΔW_0 , мм	ΔW_1 , мм	ΔW_2 , мм	W_6 , мм
	четырёхпози- ционной	однопози- ционной				
1000, 1120	1115	600	160	290	390	212
1500, 1600	2415	600	160	290	390	212
2000, 2240	3100	600	230	360	460	247

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Таблица Г. 1 — Показатели для расчёта норм расхода нерастворимых анодов (катодов)

Показатели	Декоративное хромирование	Твёрдое хромирование	Анодирование	Электролитическое полирование	Электрохимическое обезжиривание в щелочных растворах
Материал анода (катада)	Pb	Pb	Pb	Pb	Сталь углеродистая, коррозионно-стойкая или сталь, покрытая никелем
Отношение анодной поверхности к катодной	1 : 1	1 : 1	2 : 1	3 : 1	1 : 1
Коэффициент сменяемости анодов (катодов) в год	2	2	0,5	1	2 — для углеродистой стали; 0,1 — для коррозионно-стойкой или покрытой никелем стали
Принятая толщина анода (катада), мм	8	8	3	4	4

Таблица Г. 2 — Нормы потерь на унос растворов при гальванических процессах

Наименование процесса	Вид потерь	Величина потерь, см ³ /м ²					
		при отсутствии ванн улавливания			при наличии ванн улавливания		
		I	II	III	I	II	III
1	2	3	4	5	6	7	8
Покрывтие в кислых электролитах на подвесках							
Цинкование, кадмирование, меднение, никелирование, лужение	N ₁	50	80	125	8	12	20
	N ₂	0 – 5	0 – 5	0 – 5	0 – 5	0 – 5	0 – 5
	N ₃	65	65	65	65	65	65
Хромирование декоративное (40 – 45 °С)	N ₁	–	–	–	8	12	20
	N ₂	–	–	–	40	40	40
	N ₃	–	–	–	65	65	65

Продолжение таблицы Г. 2

1	2	3	4	5	6	7	8
Хромирование износостойкое	N ₁	–	–	–	8	12	20
	N ₂	–	–	–	100	100	100
	N ₃	–	–	–	65	65	65
Покрывание в щелочных (цианидных и нецианидных) электролитах на подвесках							
Цинкование, кадмирование, меднение, лужение, латунирование	N ₁	50	80	125	8	12	20
	N ₂	10 – 20	10 – 20	10 – 20	10 – 20	10 – 20	10 – 20
	N ₃	65	65	65	65	65	65
Серебрение, золочение	N ₁	–	–	–	0,5	1	1
	N ₂	–	–	–	5 – 20	5 – 20	5 – 20
	N ₃	–	–	–	21	21	21
Покрывание в колоколах и барабанах							
Из щелочных электролитов	N ₁	150	210	210	24	32	48
	N ₂	10 – 20	10 – 20	10 – 20	10 – 20	10 – 20	10 – 20
	N ₃	65	65	65	65	65	65
Из кислых элек- тролитов	N ₁	150	210	300	24	32	48
	N ₂	0 – 5	0 – 5	0 – 5	0 – 5	0 – 5	0 – 5
	N ₃	65	65	65	65	65	65
Оксидирование алюминия, меди и её сплавов							
Анодирование меди, алюминия	N ₁	403	480	557	–	–	–
Оксидирование меди и её сплавов	N ₁	50	80	125	–	–	–
	N ₂	10	10	10	–	–	–
	N ₃	5	5	5	–	–	–

Примечание. Меньшая величина соответствует потерям при работе без нагревания и перемешивания раствора, большая — при работе с нагреванием и перемешиванием. I, II, III — группы деталей по сложности конфигурации.

Таблица Г. 3 — Удельные нормы расхода химикатов на разложение электрическим током

Химикаты	Температура раствора, °С	Потери на разложение, г/(А·ч)
Цианиды	18 – 20	0,5 – 0,7
	40 – 45	0,7 – 0,8
	Более 45	0,8 – 0,9
Глицерин, сульфат натрия при цинковании	18 – 25	0,06 – 0,07
Сульфат никеля и сульфат натрия при кадмировании	18 – 25	0,07 – 0,1
Гипосульфит при меднении	18 – 25	0,007 – 0,01
Сахарин при никелировании	55 – 60	0,01
Бутиндиол	–	0,08

Таблица Г. 4 — Нормы расхода хромового ангидрида

Функциональное назначение покрытия	Группа сложности деталей	Формула для расчёта норм расхода хромового ангидрида, г/м ²
Декоративное	I	29δ + 53
	II	29δ + 59
	III	29δ + 68
Твёрдое	I	24δ + 35
	II	24δ + 39
	III	24δ + 45
Молочное	I	39δ + 44
	II	39δ + 49
	III	39δ + 56

Примечание. При хромировании с применением средств, снижающих унос электролита в вентиляцию (поплавки, препарат хромин и др.), приведённые в таблице нормы расхода умножаются на коэффициент 0,6.

Таблица Г. 5 — Давление насыщенного водяного пара в зависимости от температуры

Температура, К	Давление, кПа	Температура, К	Давление, кПа
273	0,62	318	9,75
283	1,22	323	12,30
288	1,71	328	15,70
293	2,34	333	19,90
298	3,18	343	31,40
303	4,25	353	47,20
308	5,62	363	70,10
313	7,33	373	101,10

Таблица Г. 6 — Предельно допустимые концентрации отмываемых веществ в промывной воде

Наименование операции или тип электролита, после которых производится промывка	Отмываемое вещество	Наименование операции или тип электролита, перед которыми производится промывка	ПДК вещества в последней ступени промывки C_n , г/л
1	2	3	4
Анодирование	H_2SO_4	Наполнение, сушка	0,010
Активирование	В пересчёте на H_2SO_4	Кислые электролиты	0,100
		Щелочные электролиты	0,050
		Цианидные электролиты	0,010
Цианидные: кадмирование, цинкование и меднение	CN^-	Заключительные операции, сушка	0,010
Цинкование кислое	Zn^{2+}	Осветление	0,010
Кадмирование кислое	Cd^{2+}	Заклучительные операции, сушка	0,015
Меднение кислое	Cu^{2+} , Cu^+	Никелирование	0,002
		Другие операции, сушка	0,010

Продолжение таблицы Г. 6

1	2	3	4
Наполнение хромпиком	Cr^{6+}	Сушка	0,010
Наполнение красителем	Краситель	Сушка	0,005
Никелирование	Ni^{2+}	Меднение	0,020
		Хромирование, сушка	0,010
Обезжиривание	NaOH	Щелочной электролит	0,800
		Кислый или цианидный электролит	0,100
		Анодирование алюминия	0,050
		Сушка	0,100
Химическое окисление	NaOH	Промывка в мыльной воде, сушка	0,200
Оловянирование	Sn^{2+} , Sn^{4+}	Заключительные операции, сушка	0,010
Осветление кадмиевого или цинкового покрытия	HNO_3	Заклучительные операции, сушка	0,200
Пассивирование меди и медных сплавов	Cr^{6+}	Заклучительные операции, сушка	0,010
Химическое и электрохимическое полирование	Cr^{6+}	Заклучительные операции, сушка	0,010
Травление: алюминия	NaOH	Последующие операции, сушка	0,100
цветных металлов	HNO_3		0,150
чёрных металлов	H_2SO_4 , HCl		0,050
Фосфатирование	"Мажеф"	Заклучительные операции, сушка, промасливание	0,020
Хромирование	Cr^{6+}	Промывка в растворе соды, сушка	0,010
Железнение	Fe^{2+}	Сушка	0,030
Серебрение, золочение, платинирование, родирование	Ag, Au, Pt, Rh	Сушка	0,001

Таблица Г. 7 — Удельные нормы уноса растворов с деталями
из гальванических ванн

Вид обработки	Время стекания раствора (не менее), с	Норма удельного уноса раствора, л/м ²	
		кислые растворы	щелочные и хромсодержащие растворы
На подвесках	6	0,2	0,3
В колоколах	15	0,4	0,6
В барабанах	15	0,4	0,6
В корзинах и сетках	15	0,5	0,75

Таблица Г. 8 — Формулы расчёта расхода воды для часто встречающихся схем промывки

Схема промывки	Формула для расчёта расхода воды, л/ч
1	2
T → У	$Q = \frac{V_{\text{с}}}{T_{\text{сб}}}$
T → У → У	$Q = \frac{\sum V_{\text{с}}}{T_{\text{сб}}}$
T → У → У → У	$Q = \frac{\sum V_{\text{с}}}{T_{\text{сб}}}$
T → П	$Q = q \cdot P_{\text{час}} \cdot k_0$
T → П → П	$Q = 2 \cdot q \cdot P_{\text{час}} \cdot \sqrt{k_0}$
T → П → П → П	$Q = 3 \cdot q \cdot P_{\text{час}} \cdot \sqrt[3]{k_0}$
T → 2КП	$Q = q \cdot P_{\text{час}} \cdot \sqrt{k_0}$
T → 3КП	$Q = q \cdot P_{\text{час}} \cdot \sqrt[3]{k_0}$
T → 2КП → П	$Q = 2 \cdot q \cdot P_{\text{час}} \cdot \sqrt[3]{k_0}$
T → П → 2КП	$Q = 2 \cdot q \cdot P_{\text{час}} \cdot \sqrt[3]{k_0}$
T → У → П	$Q = 0,4 \cdot q \cdot P_{\text{час}} \cdot k_0$
T → У → П → П	$Q = 2 \cdot q \cdot P_{\text{час}} \cdot \sqrt{0,4 \cdot k_0}$
T → У → 2КП	$Q = q \cdot P_{\text{час}} \cdot \sqrt{0,4 \cdot k_0}$

Продолжение таблицы Г. 8

1	2
$T \rightarrow Y \rightarrow 2КП \rightarrow П$	$Q = 2 \cdot q \cdot P_{\text{час}} \cdot \sqrt[3]{0,4 \cdot k_0}$
$T \rightarrow Y \rightarrow П \rightarrow 2КП$	$Q = 2 \cdot q \cdot P_{\text{час}} \cdot \sqrt[3]{k_0}$
$T \rightarrow Y \rightarrow Y \rightarrow П$	$Q = 0,15 \cdot q \cdot P_{\text{час}} \cdot k_0$
$T \rightarrow Y \rightarrow Y \rightarrow П \rightarrow П$	$Q = 2 \cdot q \cdot P_{\text{час}} \cdot \sqrt{0,15 \cdot k_0}$
$T \rightarrow Y \rightarrow Y \rightarrow 2КП$	$Q = q \cdot P_{\text{час}} \cdot \sqrt{0,15 \cdot k_0}$

Примечание: Т — технологическая ванна; У — ванна улавливания; П — оди-
нарная ванна проточной промывки; 2КП — двухкаскадная ванна промывки; 3КП —
трёхкаскадная ванна промывки; $V_в$ — объём ванны промывки; $T_{сб}$ — время между сме-
ной промывной воды. Движение деталей слева направо.

Таблица Г. 9 — Норма расхода пара на ванну ёмкостью 100 л

Температура разогрева, °С	Расход пара, кг/ч						
	при нагревании растворов посредством				при нагревании промывной воды змеевиком		
	змеевика		пароводяной рубашки		на ра- зогрев	на поддержание температуры	
	на ра- зогрев	на под- держание темпера- туры	на разо- грев	на под- держание темпера- туры		1 раз в 2 часа	1 раз в 3 часа
1	2	3	4	5	6	7	8
30	4,3	0,27	10,0	0,86	—	—	—
35	5,3	0,37	11,1	0,92	—	—	—
40	6,4	0,49	12,2	0,98	—	—	—
45	7,4	0,62	13,3	1,07	—	—	—
50	8,5	0,78	14,4	1,18	8,5	4,64	3,36
55	9,6	0,97	15,5	1,32	—	—	—
60	10,7	1,18	16,6	1,49	10,7	6,0	4,39
70	13,5	1,72	—	—	13,5	7,5	5,56
80	15,8	2,44	—	—	15,8	9,2	6,95
90	18,1	3,44	—	—	18,1	11,5	8,6
100	20,9	4,78	—	—	—	—	—

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Таблица Д. 1 — Основные технические данные тиристорных преобразователей серии ТЕ, ТЕР, ТВ, ТВР и ТВИ

Тип агрегата	Номинальный постоянный ток, А	Напряжение, В		КПД, %	Коэффициент мощности	Расход охлаждающей воды, м ³ /ч
		номинальное постоянное	наибольшее постоянное			
ТЕ1-100/12Т-0	100	12	13,2	78	0,85	—
ТЕ1-100/24Т-0	100	24	26,4	84	0,85	—
ТЕ1-400/12Т-0	400	12	13,2	82	0,92	—
ТЕ1-400/24Т-0	400	24	26,4	88	0,93	—
ТЕ1-400/48Т-0	400	48	52,8	89	0,93	—
ТЕ1-315/115Т-0	315	115	126,5	92	0,93	—
ТЕ1-800/12Т-0	800	12	13,2	83	0,92	—
ТЕ1-800/24Т-0	800	24	26,4	88	0,93	—
ТЕ1-800/48Т-0	800	48	52,8	89	0,93	—
ТВ1-1600/12Т-0	1600	12	13,2	83	0,92	0,1
ТВ1-1600/24Т-0	1600	24	26,4	87	0,93	0,1
ТВ1-3150/12Т-0	3150	12	13,2	83	0,92	0,2
ТЕР1-100/12Т-0	100	12	13,2	78	0,85	—
ТЕР1-400/12Т-0	400	12	13,2	82	0,92	—
ТЕР1-800/12Т-0	800	12	13,2	83	0,92	—
ТЕР1-800/24Т-0	800	24	26,4	88	0,93	—
ТВР1-1600/12Т-0	1600	12	13,2	83	0,92	0,1
ТВР1-1600/24Т-0	1600	24	26,4	87	0,93	0,1
ТВР1-3150/12Т-0	3150	12	13,2	83	0,92	0,2
ТВИ1-1600/24Т-0	1600	24	26,4	87	0,93	0,1
ТВИ1-3150/12Т-0	3150	12	13,2	83	0,92	0,2

Учебное издание

**Бобрикова Ирина Георгиевна,
Липкин Михаил Семенович,
Селиванов Валентин Николаевич**

**Технологические расчеты процессов
получения электрохимических покрытий**

Редактор Л.И. Бутенко

Темплан 2008 г. Подписано в печать 16.05.2008.

Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 8,37. Уч.-изд. л. 8,5. Тираж 50. Заказ

Южно-Российский государственный технический университет
Редакционно-издательский отдел ЮРГТУ