



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Конструирование изделий из полимерных
композиционных материалов»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ к проведению практических занятий по дисциплине

«Оборудование и основы проектирования»

Авторы
Жукова И.Ю.
Кучеренко С.В.
Мишуров В.И.

Ростов-на-Дону, 2014



Аннотация

В методических указаниях изложены материалы по выбору и расчетам гальванического оборудования применительно для гальванических линий. Содержит список рекомендованной литературы. Предназначено для студентов направления 240100 Химическая технология всех форм обучения

Авторы

д.т.н., доцент
Жукова И.Ю.

к.х.н., доцент
Кучеренко С.В.

к.х.н., доцент
Мишуров В.И.





Оглавление

Введение	4
1 Определение фондов рабочего времени для расчёта производства	6
2 Установление производственной программы цеха.....	9
3 Выбор оборудования.....	11
4 Определение величины загрузочной или расчетной единицы	13
5 Определение времени обработки деталей	15
6 Общие указания к расчету количества оборудования...19	
7 Расчёт стационарных ванн для покрытия деталей, завешиваемых на подвесках.....	21
8 Расчет габаритов ванн	27
9 Расчёт оборудования для покрытия мелких деталей в насыпном виде (в барабанах, колоколах, и пр.)	31
10 Расчёт колокольных ванн	38
11 Расчет габаритов АОЛ.....	42
Библиографический список	43



ВВЕДЕНИЕ

В системе подготовки бакалавров по профилю «Технология электрохимических производств и защита от коррозии объектов и оборудования нефтегазового комплекса» дисциплина «Оборудование и основы проектирования» относится к профессиональному циклу ООП. Знание основ настоящей дисциплины необходимо как для разработки курсовых проектов и ВКР, так и в профессиональной деятельности выпускников профиля направления 240100 Химическая технология.

Бакалавр должен знать и уметь использовать методы проектирования технологических процессов, обеспечивающих получение эффективных технологических и конструкторских решений; основные подходы к конструированию оборудования. Поэтому основной задачей данной дисциплины является ознакомление студентов с основами проектирования и типовым оборудованием электрохимических производств, обучение основным методам расчета оборудования применительно для гальванических линий.

Расчет оборудования может включать:

- объем и назначение производства;
- режим работы цеха и определение фонда рабочего времени оборудования;
- расчёт производственной программы цеха;
- обоснованный выбор оборудования для каждой из операций технологического процесса, расчет его количества;
- характеристику изделий, поступающих на обработку, их габариты и форму, состояние поверхности;
- выбор схемы технологического процесса нанесения покрытия;
- выбор вида и толщины покрытия, выбор состава электролита для нанесения покрытий;
- описание операций технологического процесса и электрохимических характеристик электродных процессов;
- технологию приготовления; методы и средства анализа и способы корректировки электролитов, ресурс их работы, частоту фильтраций, очистки, замены и др.;
- методы и средства контроля качества покрытий;
- способы удаления недоброкачественных покрытий;
- возможные неполадки при электролизе и методы их устранения;
- расчёт баланса напряжений электролитических ванн;
- расчет, выбор и описание источников тока для питания



Оборудование и основы проектирования

ванн электролиза;

- расчет теплового режима электролитических ванн;
- расчёт материального баланса электролитических ванн и вспомогательных ванн и необходимого количества материалов на их эксплуатацию;
- условия эксплуатации и последующего хранения изделий.



1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОНДОВ РАБОЧЕГО ВРЕМЕНИ ДЛЯ РАСЧЁТА ПРОИЗВОДСТВА

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

Номинальный годовой фонд времени (рабочих и оборудования)

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

Обычно принимается 8-часовой рабочий день при 7-дневной рабочей неделе: шесть дней рабочих и один выходной. Нерабочие дни в году, кроме выходных, отмечены в календаре красным цветом – всего 9 дней.

В соответствии с этим номинальный годовой фонд времени рабочих и оборудования, выраженный в сутках, составляет:

$$T_0 = 365 - 61 = 304 \text{ сут};$$

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

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

$$T_0 = 365 - 9 = 356 \text{ сут}.$$

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

Если остановка гальванооборудования по условиям произ-



Оборудование и основы проектирования

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

Таким образом, для нормального по вредности производства номинальный годовой фонд времени (рабочих и оборудования), выраженный в часах, будет составлять при работе: в одну смену $T_0 z = 304 \cdot 8 = 2432$ ч, в две смены $T_0 z = 304 \cdot 16 = 4864$ ч, в три смены $T_0 z = 304 \cdot 24 = 7296$ ч, где z – количество часов работы цеха за сутки.

При непрерывной круглосуточной работе цеха с выходными днями:

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

При непрерывной работе без выходных дней:

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

Действительный годовой фонд времени оборудования

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

Размер потерь времени на ремонт оборудования зависит от сложности оборудования и организации самого ремонта.

В табл. 1 приведены общие средние годовые потери времени оборудования в процентах от номинального фонда времени оборудования.

Таблица 1.

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

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



Оборудование и основы проектирования

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

Таким образом, действительный годовой фонд времени оборудования, выраженный в часах (Tz), составит

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

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

Действительный годовой фонд времени рабочих

Действительный годовой фонд времени рабочей силы определяется в зависимости от характера работы и особых условий производства в соответствии с общими положениями об отпусках.

Продолжительность очередного отпуска рабочих предусматривается: для нормальных по вредности условий труда – в 12 рабочих дней в году, что составляет около 4 % от номинального годового фонда времени рабочих; для вредных условий труда – 18 и 24 рабочих дня (в зависимости от степени вредности), что составляет примерно 6 и 8 % от номинального годового фонда времени рабочих.

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

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



2 УСТАНОВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ ЦЕХА

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

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

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

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

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

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

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

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

Суточная программа цеха выражается в данном случае, приближительной средней величиной.

Производственная программа цеха в один час ($P_{\text{час}}$) определяется отношением годовой программы (с учетом переделки брака) к действительному годовому фонду времени оборудова-



Оборудование и основы проектирования

ния, выраженному в часах, т.е.

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

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



3 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ

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

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

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

По габаритам большинство изделий, поступающих в цех покрытий, можно разделить на две основные группы: крупные и мелкие. Крупные детали загружаются в ванны индивидуально или



Оборудование и основы проектирования

партиями на специальных подвесках (рамах, крючках и пр.), служащих одновременно и контактами. Мелкие детали подвергаются покрытию обычно в насыпном виде: в барабанах, колоколах, корзинах. Как крупные, так и мелкие детали можно покрывать в стационарных ваннах, полуавтоматах и автоматах.

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

Таким образом, проектирование автоматов целесообразно при следующих условиях:

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

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



4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ЗАГРУЗОЧНОЙ ИЛИ РАСЧЕТНОЙ ЕДИНИЦЫ

Перед расчетом оборудования для электролитических и химических процессов нужно установить, что является загрузочной или расчетной единицей: отдельная деталь или изделие, приспособление с деталями или сама ванна, колокол, барабан и т.п. с определенной, заранее принятой загрузкой деталями.

В зависимости от характера задания и вида покрытия при определении величины загрузочной единицы деталей могут быть два случая, рассмотренные ниже.

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

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

Если мелкие детали незначительно отличаются одна от другой по габаритам и поверхности, то при большой их номенклатуре расчет оборудования можно вести по средней его загрузке деталями, исходя из общего суммарного количества или веса всех деталей, без разделения их на какие-либо группы.

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

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

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

Второй случай. Объекты покрытия представляют собой детали, различные по форме, габаритам и поверхности. Такие детали обычно являются частями какого-либо сложного изделия, аппарата, машины и т.п. В этом случае детали после разбивки их



Оборудование и основы проектирования

на группы (по видам покрытия) и на группы (по типам оборудования, габаритам, материалу и пр.) комплектуют в загрузочные группы на приспособления – подвески (крючки, рамы и т.п.) или на ванны определенных размеров. Комплектование производят с таким расчетом, чтобы все подвески с деталями для принятой загрузочной единицы (в пределах данной группы) были примерно одинаковы как по поверхности покрытия, так и по габаритам.

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

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

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

Для более точного расчета мелкие детали, имеющие резко отличные габариты, форму, вес и поверхность, следует предварительно разбить на группы и подгруппы с близкой по величине удельной поверхностью. Ёмкость и габариты барабана, колокола и других установок определяются по наибольшей величине объёма, занимаемого деталями в насыпном виде при данном весе загрузки.

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



5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ

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

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

Время τ складывается из двух величин:

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

где τ_1 – время на обработку деталей в ванне, колоколе и пр. или продолжительность технологического процесса на данной операции (электролитического осаждения металлов, обезжиривания, травления и т.д.) – основное или технологическое время; τ_2 – время затрачиваемое на загрузку и выгрузку (из ванн и т.п.) деталей при данной операции их обработки – вспомогательное время, оно принимается от 1 до 10 мин.

Время τ_1 принимается по данным технологического расчета. При этом продолжительность процесса электролитического осаждения металлов рассчитывается по формуле

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

где δ – толщина покрытия, мм; γ – удельный вес осаждаемого металла, г/см³; j_k – плотность тока, А/дм²; Вт – выход металла по току, %; $\bar{\mathcal{E}}$ – электрохимический эквивалент, г/(А·ч).

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

В связи с этим при определении продолжительности осаждения металла τ_1 в барабанах и колоколах следует различать среднюю и действительную плотности тока. Средней плотностью тока $j_{k, \text{cp}}$ в этом случае называется плотность тока, подаваемого



Оборудование и основы проектирования

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

Расчет величины τ_1 удобнее вести по средней плотности тока. Учитывая недостаточную равномерность пересыпания деталей в барабанах и колоколах и возможное истирание покрывающего слоя с поверхности деталей, следует продолжительность электролиза τ_1 вычисленную на основании средней плотности тока по приведенной выше формуле, увеличить приблизительно на 15 – 25 %.

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

Затраты времени τ_2 на загрузку и выгрузку деталей определяются в зависимости от типа оборудования и системы организации работ в цехе. Во всяком случае надо стремиться, чтобы эти затраты времени были минимальными. С этой точки зрения наиболее рациональной следует признать такую систему, при которой детали загружаются и выгружаются в процессе работы без 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 t на организацию и проведение первоначальной загрузки и конечной выгрузки ванн учитывается только при прерывной, некруглосуточной работе цеха в одну или две смены и, как указано выше, относится не к отдельной загрузке, а ко всей партии деталей, соответствующей суточной или сменной программе цеха. Сюда относятся затраты времени на монтаж подвесок и подготовку поверхностей деталей, выполняемую непосредственно перед загрузкой первой партии в ванны покрытия (электрохимическое обезжиривание, декапирование, промывка), на конечные кратковременные операции химической и электрохими-



Оборудование и основы проектирования

ческой обработки, выполняемые непосредственно после выгрузки последней партии деталей из ванн (промывка, осветление, сушка, демонтаж подвесок), а также на проведение первоначальной загрузки и конечной выгрузки деталей из ванны. В течение этого времени может производиться также и подготовка основного оборудования - ванн для покрытий.

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

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

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

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

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



Оборудование и основы проектирования

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

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

При расчете гальванооборудования время t нужно вычесть из фонда времени оборудования (T_z), так, как в противном случае количество единиц оборудования будет занижено. Удобнее время t выражать коэффициентом k , учитывая его в формулах расчета величины загрузки или количества единиц оборудования. Для стационарного оборудования при прерывной некруглосуточной работе цеха этот коэффициент k будет равен: 1,06 – 1,1 при работе цеха в одну смену, 1,03 – 1,05 при работе цеха в две смены, 1,02 – 1,04 при работе цеха в три смены.

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



6 ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ К РАСЧЕТУ КОЛИЧЕСТВА ОБОРУДОВАНИЯ

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

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

Под суточными потерями в данном случае понимается тот остаток суточного времени, в течение которого оборудование остается неиспользованным, если количество загрузок по расчету выражается дробной величиной.

Так как дробного числа загрузок в действительности быть не может, то округляют до ближайшего целого числа в большую сторону. В этом случае при расчете стационарного оборудования по суточной программе при прерывной работе цеха потребное количество n оборудования выражается большими величинами и определяется более правильно, чем при расчете по годовой программе. Однако практически эта разница имеется только при очень большой продолжительности процесса на данной операции и в этом случае лучше вести расчет по суточной программе $P_{сут}$.

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

При непрерывной круглосуточной работе оборудования (без выходных дней) в хорошо организованном и налаженном производстве суточные потери времени вообще отсутствуют.

Все расчеты оборудования, устанавливаемого в гальваническом цехе, - стационарных ванн, полуавтоматов, автоматов, конвейерных установок для покрытия проволоки и ленты и др. - в большинстве случаев начинаются с расчета ванн для покрытия и



Оборудование и основы проектирования

для каждой группы и подгруппы деталей производится отдельно. Форма расчета определяется типом выбранного оборудования и для каждого из них имеет свои особенности.



7 РАСЧЁТ СТАЦИОНАРНЫХ ВАНН ДЛЯ ПОКРЫТИЯ ДЕТАЛЕЙ, ЗАВЕШИВАЕМЫХ НА ПОДВЕСКАХ

Расчёт количества и производительности ванн

Расчет количества ванн можно производить одним из рассмотренных ниже способов.

Первый способ расчёта

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

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

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

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

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

3. Количество деталей или подвесок с деталями, загружаемых одновременно во все ванны Y_n определяется по формуле:

$$Y_n = \frac{\tau_c}{T_d \cdot z - T_0 \cdot t} \approx \frac{\tau_c \cdot k}{T \cdot z},$$

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

Если расчетная величина Y_n выражается дробным числом, то можно округлить ее до целого числа в большую сторону.

Величина загрузки для одной ванны Y выбирается в зависимости от размеров деталей, плотности тока, конструктивных особенностей оборудования и т.д.

4. Количество одинаковых (по виду покрытия и габаритам) ванн n определяется как отношение величины одновременной загрузки всех ванн Y_n к принятой величине загрузки одной ванны Y т.е.

$$n = \frac{Y_n}{Y}.$$

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

п.

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

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

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

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

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

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

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

Пример 1. Требуется рассчитать стационарные ванны для никелирования деталей велосипеда с выпусков 300000 машин в год. Производственная программа цеха со спецификацией деталей (первая группа) приведена выше в программной и загрузочной ведомостях деталей.

Данные, принятые для расчета. Согласно загрузочной ведомости в год должно быть покрыто 286588 подвесок с деталями (1 318 800 деталей) поверхностью каждая около 15 дм².

Режим работы: прерывная семидневная рабочая неделя в две смены по 8 ч каждая.

Решение

Номинальный годовой фонд времени оборудования составляет:

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

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

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

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

Расчет ведем по годовой программе цеха.



Оборудование и основы проектирования

Принимаем среднюю толщину покрытия никелем $\delta = 0,025$ мм; плотность тока $j_{\text{кт}} = 4$ А/дм²; температуру электролита около 50 °С; выход металла на теку Вт = 96 %. Электролиз протекает с перемешиванием электролита сжатым воздухом.

Расчет количества ванн

1. определяем время, необходимое для операции покрытия деталей:

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

а) продолжительность электролиза

$$\tau_1 = \frac{S \cdot \gamma \cdot 1000 \cdot 60}{j_{\text{к}} \cdot \Xi \cdot \text{Вт}} = \frac{0,025 \cdot 8,8 \cdot 1000 \cdot 60}{4 \cdot 0,95 \cdot 96} = 31,3 \text{ мин}'$$

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

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

в) время на подготовительные и заключительные операции t за каждые сутки принимаем равным 0,5 ч, т.е. около 3 % от времени работы цеха за сутки, следовательно, поправочный коэффициент к времени обработки деталей равен 1,03, а суммарное годовое время на подготовительные и заключительные операции:

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

2. Время, необходимое для покрытия никелем годового количества подвесок с деталями τ_c (см. загрузочную ведомость – табл. 3), равно:

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

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

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

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

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

4. Количество ванн составит:

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

принимаем округлённо $n' = 6$ ванн.

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

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

Коэффициент загрузки k_1 оборудования:

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

Второй способ расчета

В отличие от первого способа количество ванн определяется как отношение суммарного времени, потребного для обработки годового количества загрузочных единиц (с учетом времени на подготовительные и заключительные операции t) к годовому (действительному) фонду времени работы оборудования $T \cdot z$. Загрузочной или расчетной единицей в данном случае является загрузка деталями одной ванны, колокола, барабана и т.п. определенных габаритов и ёмкости. При этом, время обработки всех загрузок принимается равным произведению времени обработки деталей τ на число загрузок x .

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

Ход расчёта количества и производительности ванн по этому способу.

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

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

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

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

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



Оборудование и основы проектирования

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

4. Суммарное время τ_c в часах, потребное для обработки всех загрузок в год, равно:

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

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

5. Количество ванн n рассчитывается по формуле:

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

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

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

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

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

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

Коэффициент загрузки оборудования по предыдущему равен

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

Пример 2. Требуется рассчитать количество и габариты ванн для покрытия никелем деталей велосипеда с выпуском 300 000 машин в год.

Все исходные данные, принимаемые для расчета, приведены в предыдущем примере 1.

Решение

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

2. Количество загрузок ванн в год:

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

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

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



Оборудование и основы проектирования

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

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

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

5. количество ванн:

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

Принимаем $n' = 6$ ванн.

6. Производительность в год:

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

Коэффициент загрузки k_1 оборудования:

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



8 РАСЧЕТ ГАБАРИТОВ ВАНН

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

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

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

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

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

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

где ω_1 – размер деталей (или подвески) по ширине ванны; если в одну и ту же ванну загружаются различные по габаритам детали, то величина ω_1 должна соответствовать детали, имеющей наибольший размер по ширине ванны; ω_2 – расстояние между анодом и ближайшим краем деталей; величина ω_2 зависит от системы завески и конфигурации детали и увеличивается для рельефных деталей; для деталей, имеющих правильную форму (плоскость, цилиндры небольшого диаметра), можно допускать ω_2 в пределах 100 – 150 мм, для рельефных деталей более или менее сложной формы ω_2 берут в пределах 150 – 200 мм; ω_3 – расстояние между внутренней стенкой продольного борта ванны и анодом (50 – 100 мм; для ванн с неизолированной внутренней поверхностью металлических стенок $\omega_3 = 150$ мм и больше); n_2 – количество катодных штанг; n_3 – количество анодных штанг (в большинстве случаев $n_3 = n_2 + 1$); D – толщина анода, мм.

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

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

где h_3 – высота уровня электролита; h_1 – высота деталей или подвески без подвесного крюка; h_2 – расстояние от дна ванны до нижнего края деталей или подвески; величина h_2 зависит от материала ванны (для ванн с неизолированными внутренними металлическими стенками она должна быть больше), а также от расположения паропроводных и воздухопроводных труб в ванне; h_2 обычно бывает в пределах 150 – 300 мм; h_3 – высота электролита над верхним краем детали (20 – 50 мм); h_6 – расстояние от



Оборудование и основы проектирования

поверхности зеркала электролита до верхнего края бортов ванны (бортовая вентиляция здесь не учитывается); для ванны, работающей без перемешивания сжатым воздухом, h_6 берут в пределах 100 – 50 мм, а для ванны с перемешиванием 150 – 250 мм.

Объём электролита в ванне составляет:

$$V = V_1 - V_2,$$

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

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

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

Пример 3. Требуется рассчитать габариты ванн для покрытия деталей на подвесках.

Решение

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

а) длина:

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

б) ширина:

$$\begin{aligned} \omega_{\text{вн}} &= n_2 \cdot \omega_1 + 2n_2 \cdot \omega_2 + 2\omega_3 + n_3 \cdot D = \\ &= (2 \cdot 100) + (2 \cdot 2 \cdot 140) + (2 \cdot 50) + (3 \cdot 10) = 890 \approx 900 \end{aligned}$$

мм ≈ 9 дм;

в) высота:

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

Можно считать, что объём электролита в ванне равен:

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

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

Расчет поверхности загрузки и силы тока. Поверхность загрузки складывается из двух величин: рабочей поверхности, т.е. поверхности деталей, и нерабочей поверхности, т.е. поверхности материала завешивающих приспособлений в неизолированной



Оборудование и основы проектирования

части. Надо стремиться к тому, чтобы нерабочая поверхность была минимальной, т.к. она вызывает бесполезный частичный расход тока, потери осаждаемого металла и загрязнение электролита металлическими наростами, спадающими с подвесок. При хорошей изоляции подвесок (за исключением тех мест, которые контактируют с деталями) величиной нерабочей поверхности можно пренебречь. Таким образом, суммарная поверхность загрузки для одной ванны S_v составит:

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

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

Суммарная поверхность одновременной загрузки всех ванн S_n соответственно установленной их производительности выразится:

$$S_n = S_v \cdot n' = (S_1 + S_2) \cdot Y \cdot n',$$

Сила тока определяется по формулам:

на одну ванну:

$$I_v = S_v \cdot j_k;$$

на все ванны одного типа:

$$I_n = S_n \cdot j_k = I_v \cdot n',$$

где j_k – плотность тока.

Пример 4. Требуется рассчитать поверхность одновременной загрузки и силу тока для одной ванны.

Решение

В соответствии с данными, принятыми и полученными в предыдущих расчётах, для определения поверхности загрузки за исходную единицу S_1 принимаем подвеску с деталями, имеющую наибольшую рабочую поверхность, т.е. $S_1 = 14,72$ дм. Поверхность неизолированной части подвесок (наибольшая поверхность) принимаем равной 5% от рабочей поверхности, т.е.

$$S_2 = 14,72 \cdot 0,05 = 0,74 \text{ дм}^2.$$

Следовательно, поверхность одновременной загрузки выразится: для одной ванны:

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

для всех (шести) ванн:

$$S_n = S_v \cdot n' = 93 \cdot 6 = 588 \text{ дм}^2.$$

Сила тока составит:

на одну ванну:

$$I_v = S_v \cdot j_k = 93 \cdot 4 = 372 \text{ А};$$

на все ванны:

$$I_n = I_v \cdot n' = 372 \cdot 6 = 2232 \text{ А}.$$



Оборудование и основы проектирования

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



9 РАСЧЁТ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОКРЫТИЯ МЕЛКИХ ДЕТАЛЕЙ В НАСЫПНОМ ВИДЕ (В БАРАБАНАХ, КОЛОКОЛАХ, И ПР.)

Расчёт количества указанных типов оборудования производится любым из способов, рассмотренных выше при расчете стационарных ванн, загружаемых деталями на подвесках. В случае большой производственной программы и установки барабанов и колоколов определённых габаритов и ёмкости расчет их количества удобнее вести, исходя из годовой программы. Ниже приведены примеры расчетов барабанов и колоколов. Расчёты времени обработки детали ($\tau = \tau_1 + \tau_2 \tau_c$) и количества единиц оборудования производятся также, как было указано выше в расчете ванн, загружаемых деталями на подвесках. Необходимо учитывать при этом некоторые особенности в расчете времени обработки τ_1 для деталей, покрываемых в насыпном виде (в барабане, колоколе и т.п.), которые приведены выше в соответствующем разделе. Величину загрузки Y_n и Y в отличие от предыдущих расчетов в данном случае удобнее выражать в весовых единицах (кг). При расчете суммарной поверхности загрузки определяют, поверхность всех деталей, загруженных в тот или иной аппарат для покрытия, и поверхность всех неизолированных контактов, подводящих ток к деталям. Поверхность загрузки одного барабана или колокола составит:

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

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

Суммарная поверхность загрузки всего количества единиц оборудования одного вида выразится:

$$S_n = S_v \cdot n' = (S_1 \cdot Y + S_2) \cdot n'.$$

Сила тока:

на один барабан или колокол:

$$I_v = S_v \cdot j_{k(\text{cp})};$$

на все оборудование одного вида:

$$I_n = S_n \cdot j_{k(\text{cp})} = I_v \cdot n'.$$

где $j_{k(\text{cp})}$ – средняя плотность тока.

Расчёт барабанов

Во избежание потерь тока, обрастания контактов покрывающим металлом (ось барабана, втулки осей, подшипники и пр.)



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

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

Длина ванны для барабана:

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

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

Ширина ванны (для одного барабана в ванне):

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

где $D_{\text{над}}$ – наружный диаметр барабана (диаметр окружности, описанной по барабану); ω_2 – расстояние между анодом и ближайшим краем барабана (100 – 200 мм); ω_3 – расстояние между анодом и продольной стенкой ванны (50 - 100 мм); D – толщина анода.

Высота ванны:

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

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

Объем электролита в ванне и наружные размеры ванны определяются аналогично тому, как было указано выше в расчё-



Оборудование и основы проектирования

те стационарных ванн, загружаемых деталями на подвесках.

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

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

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

Данные, принятые для расчёта. Годовая производственная программа цеха с учетом 1 % брака, допускающего переделку, $P_{\text{год}}$ по первой группе деталей, покрываемых в барабане составляет: вес – 25450 кг, поверхность – 4666 м².

Работа производится в две смены по 8 ч в каждой.

Номинальный годовой фонд времени оборудования составляет:

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

Общие годовые потери времени на неизбежные простои оборудования $T_1 \cdot z = 4,5 \%$ от номинального годового фонда времени оборудования, т.е.

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

Действительный годовой фонд времени работы оборудования:

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



Оборудование и основы проектирования

Расчёт ведём по годовой программе цеха. Толщина покрытия никелем $S = 0,015$ мм. Средняя плотность тока $j_{к(ср)} = 0,7$ А/дм², следовательно, действительная плотность тока составит от 1,5 до 3 А/дм². Выход металла по току $\eta = 95\%$.

Расчет количества барабанов. Расчет проводим по первому способу.

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

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

Продолжительность электролиза:

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

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

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

Время τ_2 на загрузку и выгрузку деталей в барабанах принимаем условно равным 5 мин. Тогда:

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

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

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

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

3. Величина одновременной загрузки всех барабанов составит:

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

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

4. Количество барабанов:

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

(в данном случае $n' = n$).

Оборудование и основы проектирования

5. Вычисляем производительность барабанов в год:

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

Коэффициент загрузки k_1 оборудования:

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

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

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

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

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

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

Таким образом, высота укладки:

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

где OK – радиус вписанной окружности.

Так как

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

где a – сторона шестиугольника, то

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

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

Площадь трапеции $ABCD$:

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

где

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

Так как

Оборудование и основы проектирования

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

Следовательно, площадь трапеции ABCD:

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

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

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

Отсюда:

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

Таким образом, диаметры барабана равны:

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

$$D_{нар} = 2a + 2m = 330 + 2m,$$

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

Если принять условно $m = 15 \text{ мм}$, то $D_{нар} = 360 \text{ мм}$.

Наружная длина барабана $l_{бар}$ также зависит от его конструкции и материала. Примем условно:

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

Высота укладки деталей на одной из плоских граней барабана:

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

Определим теперь внутренние габариты ванны для барабана.

Длина ванны:

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

Ширина ванны:

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

Высота ванны:

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



Оборудование и основы проектирования

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

$$V = V_1 = I_{\text{вн}} \cdot \omega_{\text{вн}} \cdot h_{\text{э}} = 9,0 \cdot 8,0 \cdot 3,8 = 270 \text{ л.}$$

Наружные габариты ванны определяют согласно нормативно-технической документации.

Суммарная поверхность одновременной загрузки, и сила тока. Принимаем условно, что для данного случая нерабочая поверхность составляет 3% рабочей поверхности. Следовательно, поверхность загрузки составит:

а) для обычного барабана

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

б) для двух барабанов

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

Сила тока равна:

а) для одного барабана

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

б) для двух барабанов

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



10 РАСЧЁТ КОЛОКОЛЬНЫХ ВАНН

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

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

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

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

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

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

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

Пример. Требуется рассчитать колокола для никелирования (без медного подслоя) мелких деталей велосипеда с годовым выпуском 300 тысяч машин. Годовая производственная программа цеха с учетом 1% брака, допускающего переделку $P_{год}$ по второй подгруппе деталей, покрываемых в колоколах, составит: вес – 16510 кг, поверхность – 3151 м². Толщина покрытия никелем $S = 0,01$ мм. Средняя плотность тока $j_{к(ср)} = 0,5$ А/дм². Следовательно, действительная плотность тока составляет от 1 до 2 А/дм². Выход металла по току $W_t = 95$ %. Работа производится в две смены по 8 ч каждая. Действительный годовой фонд времени оборудования, как и в предыдущем примере, $T \cdot z = 4691$ ч.

Расчет количества колокольных ванн. Расчет проводим по первому способу:

1. Продолжительность процесса в данном случае равна:

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

Принимаем $\tau_2 = 8$ мин. и на неравномерность перемещения детали по предыдущему 15 % от времени τ_1 .



Оборудование и основы проектирования

Следовательно, время обработки одной загрузки τ составляет:

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

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

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

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

3. Величина одновременной загрузки во все колокола составит:

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

Величину загрузки одного колокола берем равной $Y = 2,0$ кг.

4. Количество колоколов составит:

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

Принимаем $n' = 4$ колокола.

5. Производительность колоколов в год выразится следующими цифрами:

$$P'_{\text{год}} = Y \cdot n' \cdot \frac{T \cdot z \cdot 60}{\tau} = 2 \cdot 4 \cdot \frac{4691 \cdot 60}{125} = 18013 \text{ кг.}$$

Коэффициент загрузки k_1 колоколов:

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

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

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

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

$$V'' = 6V' = 6 \cdot 0,26 \approx 1,6 \text{ дм}^2.$$

Объём электролита вместе с объёмом, занимаемым дета-

лями:

$$V_{\text{эл}} = 6V'' = 1,6 \cdot 6 = 9,6 \text{ дм}^2 \approx 10 \text{ дм}^2.$$

Объем одного колокола

$$V_{\text{кол}} = 1,5 \cdot 10 = 15 \text{ дм}^2.$$

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

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

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

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

$$r = 0,7R \text{ или } h > 2R$$

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

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

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

Суммарная поверхность одновременной загрузки S_v и S_n и сила тока. Принимаем условно, что для данного случая нерабочая поверхность S_2 составляет 3% рабочей поверхности S_1 . Следовательно:

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

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

Сила тока составляет:

а) на один колокол:

$$I_v = S_v \cdot j_{\text{к(сд)}} = 40 \cdot 0,5 = 20 \text{ А};$$

б) на четыре колокола:

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

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

$$20/10=2,0 \text{ А/л}.$$

т.е. в данном случае величина допустимая.

Расчет количества колоколов по второму способу приводит к тем же результатам. Исходной величиной в этом случае является производственная программа цеха $P_{\text{год}}$, которая согласно ведомости деталей составляет: вес – 16510 кг; поверхность – 3151 м². Для определения величины загрузки одного колокола принимаем следующие внутренние его размеры (по данным предыдущего расчета): радиус основания (дна колокола) $R = 140$



Оборудование и основы проектирования

мм, радиус верхнего отверстия $r = 100$ мм, высота колокола $h = 330$ мм. Объём такого колокола составляет:

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



11 РАСЧЕТ ГАБАРИТОВ АОЛ

Ширина линии складывается из длины ванны и ширины площадки обслуживания. Высота линии определяется высотой ванны, высотой металлоконструкций, по которым вертикально перемещается автооператор, и пространством под ваннами для сточных вод.

Наиболее существенный габаритный размер – длина линий L . Ее рассчитывают по формуле

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

где n – количество ванн одного типоразмера; W – ширина ванны принятого типоразмера; W_c – ширина сушильной камеры: для барабанов – 600, 700 мм, для барабанов саморазгружающихся и двухрядных подвесок – 800 мм, для подвесок – 600 мм; $W_{з/р}$ – ширина загрузочно-разгрузочной стойки; ΔW_c – зазор между сушильной камерой и загрузочно-разгрузочной стойкой; n_0 – количество комбинаций соседних ванн без бортовых отсосов; ΔW_0 – зазор между стенками ванн без бортовых отсосов; n_1 – количество односторонних бортовых отсосов; ΔW_1 – зазор между стенками ванн с односторонними бортовыми отсосами; n_2 – количество двухсторонних бортовых отсосов; ΔW_2 – зазор между стенками ванн с двухсторонними бортовыми отсосами; W_6 – ширина одностороннего бортового отсоса на краю линии.

Таблица 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
	Четырехпозиционной	Однопозиционной				
1000, 1120	1115	600	160	290	390	212
1500, 1600	2415	600	160	290	390	212
2000, 2240	3100	600	230	360	460	247



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лайнер В.И., Кудрявцев Н.Т. Основы гальваностегии. – М.: Гос. науч.-техн. изд-во, 1957. – Ч. 2. – 588 с.
2. Лихачев В.А., Хранилов Ю.П. Автооператорные гальванические линии / ГГУ. – Горький, 1983. – 74 с.
3. Александров В.М., Антонов Б.В. и др. Оборудование цехов электрохимических покрытий. – Л.: Машиностроение, 1987. – 309 с.
4. Садаков Г.А. Гальванопластика: справ. пособие. – М.: Машиностроение, 2004 г.
5. Виноградов С.С. Организация гальванического производства. Оборудование, расчет производства, нормирование. – М.: Глобус, 2005. – 256 с.
6. Гамбург Ю.Д. Гальванические покрытия: справочник по применению. – М.: Техносфера, 2006. – 216 с.
7. Виноградов С.С. Экологически безопасное гальваническое производство/ Под ред. В.Н. Кудрявцева. – М.: Глобус, 2002 г. – 352 с.