

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ» (ДГТУ)

Факультет «Инженерно-строительный»  
Кафедра «Безопасность технологических процессов и  
производств»

На правах рукописи

**Практикум**  
по дисциплине «Безопасность отрасли в техносфере»  
для обучающихся всех форм обучения  
по направлению 20.03.01 Техносферная безопасность

7-й семестр

Ростов-на-Дону  
2018

Составитель: к.т.н., доцент Бадалян Л.Х.,  
аспирант Овчаренко А.М.

УДК 355.77(07)

Практикум по дисциплине  
«Безопасность отрасли в техносфере»  
для обучающихся всех форм обучения  
по направлению Техносферная  
безопасность. 7-й семестр / ДГТУ,  
Ростов н/Д, 2018. — 132 с.

*Рецензент* кандидат технических наук, доц. В.И. Гаршин

*Научный редактор* кандидат технических наук,  
доц. А.В. Рамзаев

## СОДЕРЖАНИЕ

1. БЕЗОПАСНОСТЬ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	4
1.1. Основные требования безопасности при работе с индукционными плавильными печами .....	6
1.2. Определение производственных факторов, влияющих на гигиенические условия труда в литейном производстве.....	7
1.3 Очистка воздуха от выбросов литейного производства .....	15
1.4 Расчет индукционной тигельной печи .....	22
1.5 Расчет индукционной канальной печи.....	32
1.6. Расчет дуговой плавильной печи.....	41
2. БЕЗОПАСНОСТЬ СБОРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА .....	46
2.1. Расчет заклепочного соединения.....	48
2.2. Расчет резьбовых соединений.....	55
2.3 Расчет параметров локальной вибрации .....	63
2.4. Расчет и выбор посадок с натягом .....	67
3. БЕЗОПАСНОСТЬ МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА .....	73
3.1. Расчет защитного ограждения металлообрабатывающего станка .....	74
3.2. Гигиеническое нормирование содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны .....	76
3.3 Расчет общеобменной вентиляции в металлообрабатывающих цехах.....	83
3.4 Расчет приземной концентрации пыли и определение санитарно- защитной зоны металлообрабатывающего производства .....	86
3.5 Проектирование и расчет звукоизолирующего кожуха .....	90
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	94
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	96

## 1. БЕЗОПАСНОСТЬ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В литейных цехах машиностроительных заводов широко применяют печное оборудование. В плавильных отделениях используют вагранки, дуговые электрические и высокочастотные печи и т.д. В формовочных и стержневых отделениях устанавливают сушила различных конструкций для сушки форм и стержней, в смесеприготовительных — сушила для сушки песка и глины.

При огромном разнообразии промышленных печей общими для всех них являются процессы превращения какого-либо вида энергии в тепловую и передачи теплоты нагреваемому материалу. Процессу теплообмена должны быть подчинены: горение топлива — превращение химической энергии в тепловую; превращение электрической энергии в тепловую (в электрических печах), движение газа в рабочем пространстве печей и т.д.

Разнообразие промышленных печей, используемых в литейном производстве, вызывает необходимость их разделения на основные группы.

Главными этапами получения готовых изделий в литейном производстве являются расплавление металла и его разливка по формам и затем в ряде случаев термообработка отливок.

Печи различают для получения расплавленного металла (плавильные), для нагрева отливок с целью их последующей термообработки (нагревательные) и для сушки литейных форм (сушила). Во всех этих печах протекают процессы превращения какого-либо вида энергии в тепловую и затем передачи этой теплоты к расплавленному, нагреваемому или сушиму материалу.

По способу генерации теплоты все печи подразделяются на топливные, где теплота выделяется за счет горения топлива, и на электрические, где электроэнергия преобразуется в теплоту электрической дугой, нагревательными элементами сопротивления или индукцией.

Работа печей, характеризуется тепловой мощностью, тепловой нагрузкой, температурным и тепловым режимами.

*Тепловая мощность* (выражается в кВт) — это наибольшее количество теплоты, которое можно подать в печь.

*Тепловая нагрузка* — это количество теплоты, которое фактически подается в печь.

*Температурный режим* — это изменение температуры печи во времени.

*Тепловой режим* — это изменение тепловой нагрузки во времени.

По тепловому режиму печи подразделяются на работающие по

камерному режиму и методическому.

Печи, работающие по камерному режиму, подразделяются на печи непрерывного и периодического действия.

В печах непрерывного действия изделия загружаются и выгружаются непрерывно. Если в печи находится большое число изделий, удаление и загрузка одного практически не изменяет теплового режима, т.е. температура печного пространства остается постоянной на протяжении всего времени работы печи.

В печах периодического действия температурный режим печи изменяется с течением времени (печь с выкатным подом). После завершения термообработки под с отливками выкатывается из печи. Температура печи значительно снижается. После загрузки новой партии отливок температура рабочей камеры печи вновь повышается и т.д.

В печах, работающих по методическому режиму, температура изменяется по длине печи или во времени (туннельная печь для отжига чугуна). Температурный ее режим зависит от требований технологии.

Основными характеристиками работы печи являются ее КПД, коэффициент использования топлива (КИТ), а также производительность печи.

*КПД* — это отношение полезно затраченной теплоты к полному количеству теплоты, поданному в печь (включая теплоту с подогретым воздухом и т.д.).

*КИТ* — это отношение полезно затраченной теплоты к количеству теплоты, выделяемому топливом при сгорании.

*Производительность печи* — количество выплавленного металла для плавильной печи, перегретого металла для миксеров и раздаточных печей, термообработанного металла для термических печей и высушенного материала для сушил.

Производительность печи связана с ее тепловой работой: чем больше разность температур между печью и металлом, тем быстрее нагревается металл. Производительность печи зависит от ее габаритных размеров и времени технологического процесса. В нагревательных печах, в которых металл необходимо нагреть лишь до заданной температуры, производительность всегда выше чем в печах, в которых металл после нагрева требуется определенное время выдерживать.

### 1.1. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ С ИНДУКЦИОННЫМИ ПЛАВИЛЬНЫМИ ПЕЧАМИ

Требования техники безопасности к конструкциям электрических печей и к их установке сведены в Правила устройства электроустановок. Из них применительно к печам следует отметить следующие положения.

1. Все каркасы печей и щиты должны быть заземлены.
2. Аппараты и приборы на печах должны быть расположены таким образом, чтобы обеспечивалось безопасное их обслуживание и возникающие при эксплуатации аппаратов искры или электрические дуги не причинили бы вреда обслуживающему персоналу, не вызвали короткого замыкания.
3. Расстояние между электрическими выводами на печах, шинами, а также между ними и неизолированными металлическими частями должно быть не менее 20 мм по поверхности изоляции и 12 мм по воздуху. Расстояние от неизолированных частей, находящихся под напряжением, до ограждения должно быть не менее 100 мм при сетках и 50 мм при сплошных съёмных ограждениях.
4. Электрические аппараты (пускатели, контакторы и т.д.) и пирометрические приборы рекомендуется устанавливать на отдельных щитах.
5. Для контроля за работой электроцепей мощностью 100 кВт и более рекомендуется устанавливать по одному амперметру на каждую зону. Для электропечей с керамическими нагревателями амперметры устанавливают на каждую фазу.
6. Необходимо исключить случайное прикосновение обслуживающего персонала к нагревательным элементам, находящимися под напряжением более 36 В. Для этого применяют блокировки, отключающие электропечи от сети при открывании их окон.

Перечисленные требования относятся к печам, работающим при напряжении до 1000 В. К печам, работающим при напряжении более 1000 В, применяются более жесткие требования.

В печах с принудительной циркуляцией рабочей атмосферы, в которых не исключен выброс горячего газа через открытый проем, должна быть блокировка, отключающая питание электродвигателей печных вентиляторов, которые обеспечивают циркуляцию печной атмосферы, перед открытием заслонки или крышки.

Соппротивление изоляции индуктора относительно корпуса печи определяют из расчета 1000 Ом на 1 В номинального напряжения индуктора.

Соппротивление изоляции между отдельными частями кожуха печи с проложенными между ними изоляционными прокладками, а также между всеми стяжными болтами и кожухом должны быть не менее 0,5 МОм.

Изоляцию индуктора относительно корпуса следует испытывать под напряжением в течение 1 мин, которое равно двойному номинальному напряжению при рабочем напряжении на индукторе до 1000 В и 1,3 номинального напряжения при рабочем напряжении более 1000 В.

Существует опасность биологического воздействия на организм человека электрического и магнитного полей. До частоты 100 кГц такое явление практически отсутствует, от 100 кГц – 30 МГц, далее его воздействие возрастает с увеличением частоты. Степень воздействия зависит также от его продолжительности и расстояния рабочего места от источника электромагнитного поля. Меры предосторожности сводятся к экранированию и удалению источника поля от рабочего места.

#### *Контрольные вопросы*

1. Какой документ регламентирует требования безопасности при работе с индукционными плавильными печами?
2. Каким должно быть расстояние между электрическими выводами на печах, шинами, а также между ними и неизолированными металлическими частями?
3. Каким должно быть расстояние от неизолированных частей, находящихся под напряжением, до ограждения?
4. Каким образом производится контроль за работой электроцепей?
5. Какие меры предосторожности применяют, чтобы исключить вредное воздействие на человека электрического и магнитного полей?

### **1.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ГИГИЕНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ТРУДА В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

Технология литейного производства заключается в получении изделий из металла путем его плавки и заливки в формы. Существует несколько видов литья: в песчаные формы (до 95 % всего литейного производства), в металлические формы (кокильное литье), в оболочковые формы, литье по выплавляемым моделям (прецизионное литье), центробежное литье и литье под давлением.

*Литье в песчаные (земляные) формы* состоит из операций

приготовления формовочных и стержневых смесей, изготовления, сушки и сборки форм и стержней, формовки опок, подготовки шихты, плавки металла, заливки его в формы, выбивки и очистки отливок. Основным сырьем для изготовления литейных форм служит земля, в состав которой входят кварцсодержащие материалы и органические примеси, для изготовления стержней – песок и органические крепители. Наряду с основным способом, находит применение метод изготовления литейных форм и стержней для самотвердеющих смесей (двухкомпонентный состав из связующего – сульфатно-спиртовой барды и крепителя – водного раствора хромового ангидрида и др.). Просев, размол, смешивание формовочных смесей, продувка форм и стержней, а также процессы формовки, выбивки и очистки отливок связаны с возможностью пылеобразования. Широкое использование термических процессов (плавка металла в вагранках и электропечах, заливка металла в опоки, выбивка отливок, сушка стержней и форм в сушильных печах) обуславливает выделение значительных количеств конвекционного и лучистого тепла (до 100 – 170 тыс. ккал на 1 т литья). Формовка опок, выбивка и обрубка литья осуществляются с помощью, ручного, пневмоинструмента (пневматические трамбовки, рубильные молотки) и вибрационных приспособлений (механические формовочные машины, самовстряхивающиеся решетки для выбивки отливок). В последнее время для выбивки стержней используется электрогидроэффект. Термическое воздействие на металл и применяемые в производстве формовочные материалы могут приводить к деструкции органических веществ, выделению в воздух продуктов их разложения и неполного сгорания, а также аэрозолей входящих в металлы компонентов.

*Литье в оболочковые формы* имеет ряд гигиенических преимуществ перед литьем в земляные формы: более высокую чистоту поверхности отливок, исключаящую неблагоприятные процессы обрубки и очистки, уменьшение расхода формовочной земли, изъятие из процесса однократно отработанной земли, что способствует уменьшению числа рабочих, и их контакта с пылью и вибрацией. Суть технологии состоит в изготовлении форм путем нанесения смеси (песок и крепитель) непосредственно на модель для образования оболочки. Оболочка спекается при температуре 150 – 350°, отвердевает и, будучи отделена от модели, представляет собой готовую форму, в которую вводят расплавленный металл. В производстве используются крепители, представляющие собой смесь искусственных термореактивных смол (пудербакелит – фенолформальдегидная смола, древеснопековый краситель ПС-1 на основе формальдегидной



смолы, пека и уротропина и др.).

Технология *точного литья по выплавляемым моделям* заключается в изготовлении:

- а) «боков восковой модели» из стеарина, парафина, цезерина;
- б) огнеупорной суспензии из этилсиликата, маршалита и изопропалового спирта или ацетона.

Модели погружаются в огнеупорную массу, обсыпается мелким кварцевым песком, высушиваются в парах. аммиака и выплавляются из образовавшейся оболочки. Оболочки помещаются в опоки, заполняются шамотной огнеупорной глиной и кварцевым песком, обжигаются в печи и заливаются металлом. Для удаления кварцевой пленки с поверхности полученные отливки обрабатываются каустической содой и очищаются от прибылей и остатков литников.

*Литье в металлические формы* применяется для получения изделия из чугуна. Отличие его от других видов заключается в резком ограничении применения формовочных материалов (используются только стержни).

*Центробежное литье* применяется при изготовлении полых цилиндрических изделий (труб, гильз). Металл заливается во вращающуюся трубу, помещенную в охлаждаемый цилиндр.

*Литье под давлением* заключается в штамповке деталей из расплавленного металла в стальной форме. Применяется, как правило, для изготовления отливок из цветных металлов и сплавов (цинк, медь, магний, силумин и др.). Процесс заливки металла в форму производится вручную, штамповка – на специальных литейных прессах.

#### *Гигиеническая характеристика условий труда*

При литье в песчаные формы одним из основных неблагоприятных факторов является запыленность воздушной среды кварцсодержащими материалами (формовочная земля и песок). При приготовлении формовочной земли в воздухе обнаруживается до  $105 \text{ мг/м}^3$  пыли, при формовке – до  $10 \text{ мг/м}^3$ , при выбивке литья – до  $66 \text{ мг/м}^3$ , при очистке литья в барабанах – до  $70 \text{ мг/м}^3$ , грубой обдирке на искусственных абразивах –  $40 \text{ мг/м}^3$ . Пыль содержит до 20 – 30 % кристаллической двуокиси кремния и характеризуется высокой дисперсностью. Введение в технологический цикл оборотной земли (10 – 15 %), обладающей наиболее высокой дисперсностью, увеличивает возможность пылеобразования. Высокая запыленность (до  $80 \text{ мг/м}^3$ ) имела место при пескоструйной очистке литья. Этот вид очистки в запрещен. Замена пескоструйной очистки более

прогрессивными дробеструйной и особенно гидроочисткой привела к резкому снижению концентрации пыли. Наиболее агрессивна пыль, образующаяся при обрубке стального литья, так как в результате термического воздействия выделяются кристаллиты, тримидит, обладающие наиболее выраженным пневмокониотическим действием. Поступление в воздух аэрозолей (кварцевая пыль, пульвербакелит) имеет место и при литье в оболочковые формы.

Воздушная среда литейных цехов может загрязняться комплексом газообразных химических веществ. Наиболее постоянны благодаря многообразию источников концентрации окиси углерода (при сушке формовочных земель, заливке форм, плавке металла, выбивке опок). Максимальные концентрации могут достигнуть  $120 \text{ мг/м}^3$ . При этих же процессах возможно поступление в воздух сернистого газа. В результате термоокислительной деструкции органических примесей воздушная среда загрязняется акролеином, непредельными углеводородами (при использовании в изготовлении крепителей растительных масел), фенолом, формальдегидом (применение фенолформальдегидных смол), окислами азота, озоном (применение электрогидроэффекта при выбивке стержней). Не исключено поступление в воздух соединений хрома при использовании самотвердеющих смесей. Спецификой литья в оболочковые формы является выделение в воздух продуктов термоокислительной деструкции (пиролиза) смол крепителя – фенола, СО, углеводородов, возможно 3,4-бензпирена. При плавке и заливке цветных сплавов и металлов в воздухе обнаруживаются их аэрозоли – Pb (литье свинцовой бронзы) Zn, Mn, Be (литье берилловой бронзы) и др. При точном литье по выполняемым моделям возможно образование предельных и непредельных углеводородов, акролеина при подогреве модельных блоков, выделение паров растворителей и этилсиликата, паров аммиака при сушке модельных блоков, паров щелочи при очистке отливок. При литье под давлением в момент смазки нагретых форм в воздух поступают акролеин, углеводороды.

Метеорологические условия характеризуются неблагоприятными параметрами (высокая температура воздуха и воздействие лучистого тепла) при плавке и заливке металла. В меньшей степени оказывает влияние на микроклимат сушка стержней и форм и выбивка остывающих отливок. Остальные процессы совершаются при нормальной температуре, а в ряде случаев и при пониженной (шихтовый двор, участки очистки и обрубки литья). В литейных конвейерного литья горячие процессы, как правило, полностью изолированы от холодных (формовка, очистка литья и пр.). В средних

климатических широтах страны в теплый сезон года (наружная температура 25 – 30°). В плавильно-заливочных отделениях наблюдались температуры воздуха в пределах 34 – 37°, в выбивных 27 – 32°. Рабочие некоторых профессий литейных цехов подвергаются влиянию лучистой энергии, (сталевары 1440 – 3120 ккал/м<sup>2</sup>·ч, разливыщики 420 – 1080, шлаковщики 440 – 1800, выбивщики 200 – 31500 ккал/м<sup>2</sup>·ч).

Производственный шум и вибрация характерны для формовочных, обрубных и очистных отделений литейных цехов. Вибрационный фактор обусловлен применением ручных, пневматических машин (пневматические, трамбовки, молотки, поддержки и т.д.). Частота вибрации колеблется в широких пределах и зависит от конструкции пневматического инструмента, его веса, твердости отливок, величины давления сжатого воздуха и др. (см. раздел «Производственная вибрация»). Одновременно пневматические инструменты генерируют интенсивный средне- и высокочастотный шум, уровень звукового давления которого может достигать 100 – 102 дБ. Дополнительными источниками шума служат очистные, барабаны (уровень интенсивности до 90 – 100 дБ), выбивные решетки (до 86 – 90 дБ).

Ведущими нозологическими формами в литейных цехах являются заболевания органов дыхания и особенно бронхиты. В первую очередь это относится к группам рабочих обрубноочистных отделений и может быть связано с воздействием пыли, содержащей кварц. Значительно более высока заболеваемость невритами и невралгиями. Высок уровень производственного травматизма (ожоги). Среди рабочих литейных цехов встречаются случаи силикоза и вибрационной болезни (обрубщики, формовщики, стержневщики и др.), профессиональной катаракты (плавильщики). Возможны поражения кожи в результате воздействия крепителей, содержащих активные химические соединения (фенолоформальдегидные смолы).

### *Профилактические мероприятия*

*Планировочные и архитектурные мероприятия* заключаются в изоляции в отдельные помещения складов, участков размола, отделений плавки, заливки, выбивки форм, формовки, сушки, очистки литья. Должна быть предусмотрена кровля, допускающая организацию воздухообмена путем аэрации. Фонари над отделениями плавки, заливки и сушки должны располагаться выше, чем над другими помещениями, где нет значительных тепловыделений. Фонари следует оборудовать ветроотбойными щитами для обеспечения устойчивой

вытяжки. Ширина всех пролетов литейных цехов не должна превышать 96 м для обеспечения нормального воздухообмена путем аэрации.

*Технические мероприятия* должны включать применение поточных методов производства литья, осуществление комплексной механизации и автоматизации всех трудоемких и опасных процессов (применение механических сит, смесителей, бегунов, барабанов в землеприготовительном отделении, пневмотранспорт для подачи земли, механизация подачи земли на формовочном участке, применение машин для встряхивания земли при набивке вместо ручных вибротрамбовок, пескометов в стержневых отделениях, применение формовочных машин, выбивных решеток, механизация шихтовых операций, электровыбивка стержней вместо механических процессов, особенно ручной, электрохимической очистки, обязательное устранение пескоструйных камер, автоматизация изготовления стержней).

Прогрессивными решениями являются: применение вагранок закрытого типа, при работе которых выбросы вредных тазов уменьшаются в 6—8 раз; внедрение электроплавильных печей, выбивка выдавливанием, исключающая применение вибрационных решеток; изготовление стержней и форм из самотвердеющих смесей.

*Санитарно-технические мероприятия* состоят в организации приточно-вытяжной вентиляции во всех отделениях, кроме складов, укрытий бегунов, шаровых мельниц, барабанов, сит, кожухов для обдувки с вытяжной вентиляцией от них, организация притока в рабочую зону (зимой с подогревом), герметизации всех пылящих устройств и механизмов.

В формовочных отделениях приток должен превышать вытяжку во избежание поступления вредных газов и избыточного тепла из соседних «горячих» отделений. В плавильном отделении необходимо устройство зонтов над желобами вагранок, над загрузочным отверстием колошниковой площадки, в отделении выбивки – местных отсосов от вибростанков для выбивки стержней, от механических и пневматических виброрешеток. В обрубноочистных отделениях должна предусматриваться вытяжка от обрубных стволов, очистных барабанов, дробеструйных камер. Вентиляция участков с большими тепловыделениями (рабочие места заливщиков, плавильщиков, шлаковщиков, вагранщиков) должны включать организацию воздушных душ на рабочих местах. Необходима очистка вентиляционных выбросов, (агрегат ПМВК). Все агрегаты, излучающие тепло, должны быть термоизолированы (вагранки).

Личная гигиена рабочего-литейщика состоит в постоянном применении респираторов на участках с выделением пыли (ШБ-1-«Лепесток»), в пользовании защитными очками со стеклами, непроницаемыми для инфракрасных лучей, на работах с расплавленным металлом. Необходимо в этом же случае пользоваться спецодеждой для горячих цехов (костюм из теплоизоляционной ткани, рукавицы, ботинки). Необходимо пользоваться антифонами на процессах, где применяется виброинструмент, и мягкими «вибронепроницаемым» рукавицами при работе с ручными пневмозубилами и пневмотрамбовками.

Для сохранения теплового баланса организма должны быть оборудованы кабины кратковременного отдыха рабочих, полудуши, сатураторы-автоматы, рекомендуется добавление поваренной соли к питьевой воде (0,5 %-й раствор), белково-витаминные напитки.

Для исключения контакта работающих с хромовым ангидридом при использовании самотвердеющих смесей приготовление растворов производится в специальной герметизированной установке. Для предупреждения выделения пыли и контакта кожи рук работающих с раствором, содержащим хром, при его приготовлении необходимы изоляция участка от установки и цеха, полная механизация загрузки хромового ангидрида в мешалку, укрытие мешалки с аспирацией, механизация заливки готовой смеси непосредственно в стержневые ящики, уменьшение рН смеси до слабощелочной, применение 10% силиконового крема для защиты кожи, постоянное медицинское наблюдение за работающими с целью выявления первых признаков воздействия хрома на кожу и слизистые.

Оздоровительные мероприятия при литье в оболочковые формы не отличаются в принципе от приведенных выше. При проектировании вентиляции и реконструкции цехов литья в оболочковые формы следует учесть ряд особенностей. Смешивающие бегуны и плоскости должны быть обеспечены укрытиями в виде сплошного кожуха, смесители (мешалки) – в виде вытяжного шкафа с рабочим проемом в передней стенке, бак для растворения пульвербакелита в спирте – вытяжным шкафом. В формовочном отделении для местной вентиляции одно- или двухпозиционных машин и столов для склеивания полуформ используют панель Чернобережского по всей ширине рабочего участка формовки или по всей длине стола. Отверстия печей оборудуются зонтами, располагаемыми над дверцами, с принудительной вытяжкой 3600 м<sup>3</sup>/ч воздуха на 1 м<sup>2</sup> сечения зонта. При литье по выплавляемым моделям планировочные мероприятия сводятся к выделению в отдельные помещения основных

производстве иных процессов (подготовка исходных материалов; приготовление модельной массы; изготовление моделей; гидролиз этилсиликата и приготовление огнеупорной суспензии; нанесение огнеупорного покрытия, сушка, и выплавка модельного состава; прокаливание форм, формовка, заливка и выбивка, отделение керамики; приготовление щелочных растворов, выщелачивание и нормализация; окончательная обработка.

Требования к технологии и производственному оборудованию состоят в расплавлении модельных составов до температуры не менее чем на 30 – 40° ниже точки их воспламенения, в максимальной герметизации и механизации операций просева и размола кварцевого песка и маршалита, загрузки и выгрузки сыпучих материалов при приготовлении огнеупорного покрытия, механизации доставки форм в печи и в установке выплавки модельной массы, их подачи к местам заливки форм и перемещения керамических блоков и опок. Во всех основных помещениях должна быть общеобменная приточно-вытяжная вентиляция. Ряд рабочих мест и видов оборудования необходимо обеспечить местной вытяжной вентиляцией: ванны для приготовления модельных составов, столы, ручного изготовления моделей, полуавтоматы, рабочие столы сборки моделей, электропаяльники, электроланцеты, установки нанесения огнеупорного покрытия, установки обсыпки кварцевым песком, камеры аммиачной сушки, сита для просева маршалита, шаровые мельницы, установки выплавки модельного состава, место формовки и выбивки опок, печи прокаливания форм, плавильные печи, плавильно-заливочное отделение, выбивные решетки, абразивные станки для зачистки, установка выщелачивания, столы газовой или электродуговой резки.

Для борьбы с производственным шумом и вибрацией следует применять экраны, кожухи, глушители, звукоизолирующие кабины, виброизоляционные прокладки.

Профилактические мероприятия при других видах литья имеют мало особенностей. При литье в металлические формы для предотвращения поступления в воздух окиси углерода применяют газовые горелки при нагреве форм, средства механизации при выгрузке деталей, заливке. Для уменьшения газовыделений при заливке большое значение имеет удаление окалины с внутренней поверхности форм, что достигается отжигом форм. При центробежном литье необходима планировка помещений, изолирующая «горячие» процессы от прочих, при соблюдении общих для литейных цехов оздоровительных мероприятий. Оздоровительные мероприятия при

литье под давлением сводятся к устройству местной вытяжной вентиляции над тиглем или печью, над местом заливки. Рабочий должен быть защищен от брызг металла, теплоизлучения (экран), на рабочем месте следует предусмотреть воздушное душирование.

Уборка должна осуществляться влажным методом во всех без исключения помещениях литейных цехов и участков.

### *Контрольные вопросы*

1. Какие существуют виды литья?
2. Перечислите основные технологические особенности литья в песчаные (земляные) формы.
3. Перечислите основные технологические особенности литья в оболочковые формы.
4. Перечислите основные технологические особенности литья по выплавляемым моделям.
5. Перечислите основные технологические особенности литья в металлические формы, центробежного литья и литья под давлением.
6. Укажите основные производственные факторы, влияющие на гигиенические условия труда в литейных цехах.
7. Какие загрязняющие вещества поступают в воздушную среду рабочей зоны литейных цехов?
8. Каковы основные источники шума и вибрации в литейных цехах?
9. Какие профессиональные заболевания характерны для работающих литейных цехов?
10. Какие существуют разновидности мероприятий, применяемых для обеспечения безопасности труда в литейном производстве?
11. Назовите средства индивидуальной защиты, которыми обязан пользоваться работник литейного производства.

## **1.3 ОЧИСТКА ВОЗДУХА ОТ ВЫБРОСОВ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

В литейных термических печах осуществляется обработка металлических поковок и заготовок отштампованных изделий для придания им определенных механических, химических и металлографических свойств.

Производственные процессы в литейных термических печах сопровождаются выделением в помещение значительного количества вредных веществ, основными из которых являются: продукты сгорания топлива в печах, аэрозоли расплавов щелочей и солей, масляная аэрозоль, углеродистые соединения и пыль при очистке

деталей.

Литейное и термическое производства по состоянию воздушной среды и условиям труда остаются одни из наиболее неблагоприятных в машиностроительном комплексе. В большинстве литейных цехов продолжает применяться устаревшее технологическое оборудование, эксплуатация которого сопровождается интенсивным выделением вредных газов и пыли в воздух производственных помещений и в атмосферу.

Литейные цеха представляют собой сплошное комплексное производство, объединяющее ряд различных технологических процессов. В состав литейных цехов машиностроительных заводов входят: правильное отделение и шихтовый двор, формовочное и стержневое отделения; участки разлива, выбивки, обрубки, зачистки отливок и др.

В плавильном отделении приготавливают требуемый по химическому составу и свойствам литейный сплав, который затем сливается в ковши. Для плавки металла используются в основном вагранки открытого и закрытого типа, дуговые и индукторные электропечи.

Удельные выделения вредных веществ, образующихся при плавке в вагранках чугуна, составляют: 18 – 20 кг пыли и 180 – 200 кг оксида углерода на 1 тонну выплавленного металла. При выпуске 1 тонны чугуна из вагранок в ковши в воздух производственного помещения выделяется около 152 – 130 г оксида углерода и 18 – 22 г пыли.

При плавке стали и чугуна в электродуговых печах, емкость которых на машиностроительных заводах, как правило, не превышает 50 т, количество выделяемой пыли составляет 6,5 – 10 кг оксида углерода около 1,5 кг на 1 т выплавляемого металла.

Применение индукционных печей способствует дальнейшему снижению удельных выделений вредных веществ: пыли до 1,1 – 1,4 кг, а оксида углерода до 0,1 – 0,12 кг на 1 т выпускаемого металла.

Плавка цветных металлов и сплавов на их основе на машиностроительных заводах осуществляется в основном в индукционных печах, печах сопротивления и электродуговых печах сравнительно малой производительности (0,15 – 2,0 т/ч). При этих процессах наряду с пылью и оксидами выделяются серный ангидрид и оксиды азота.

Для оздоровления условий труда и жизни людей большое значение имеет очистка от пыли и газов, выбрасываемых от вагранок и сталеплавильных печей. Однако такая очистка сопряжена со следующими трудностями:



- технологический процесс плавки чугуна в вагранках сопровождается выделением газов, имеющих высокую температуру (до 900 °С);

- выделяющаяся пыль содержит частицы различных размеров от нескольких миллиметров до нескольких микрометров; по своему составу пыль весьма разнородна, т. е. она состоит из частиц кокса, флюсов и различных металлических соединений, физико-химические свойства которых также различны;

- одновременное выделение пыли и газов усложняет выбор способов очистки. Мокрый способ, применимый для улавливания пыли, не пригоден для очистки от окиси углерода, которая при обычных условиях плохо растворима в воде. Каталитическое дожигание – эффективный способ освобождения от окиси углерода, особенно при повышенных температурах, однако наличие пыли в газах приводит к быстрому загрязнению катализаторов и выводу их из строя. Понижение же температуры газов после очистки их от пыли при помощи воды снижает стойкость катализатора;

- большой объем выделяющихся газов требует применения очистных устройств значительной производительности;

- выделение вредных газов и пыли происходит неравномерно во времени.

Пыль относится к опасным и вредным производственным факторам, возникающим при проведении технологического процесса в литейном и термическом производствах. Пыль литейных цехов по дисперсному составу относится к мелкой и мельчайшей фракциям, которые длительно находятся во взвешенном состоянии в воздухе рабочей зоны. Особую опасность представляет пыль с размерами частиц 1 – 10 мкм. Количество пылинок размером до 2 мкм при различных процессах в литейных цехах составляет 62 – 87 % от общего числа пылинок находящихся в воздухе. Значительные выделения пыли, содержащей двуокись кремния, наблюдаются при выбивке отливок, в процессе приготовления формовочных и стержневых смесей, при изготовлении моделей и других операциях. Так, при очистке отливок в барабанах содержание двуокиси кремния в выделениях пыли доходит до 94,3 %, а при выбивке отливок – до 99,2 %. Кроме двуокиси кремния в пыли содержатся и другие частицы.

При плавке легированных сталей и цветных металлов в воздух рабочей зоны могут выделяться аэрозоли конденсации, среди которых весьма токсичными являются аэрозоли окислов марганца, цинка, ванадия, никеля и многих других металлов и их соединений.

К газам и парам, которыми загрязняется воздух рабочей зоны

литейных цехов, относятся акролеин, ацетон, ацетилен, бензол, окись азота, окись углерода, двуокись серы, уротропин, углекислый газ, фенол, формальдегид, хлор, этиловый спирт и др.

Окись углерода является основным вредным производственным фактором в чугунно- и сталелитейных цехах. Источники выделения – вагранки и другие плавильные агрегаты, залитые формы в процессе их застывания, сушильные печи, агрегаты поверхностной подсушки форм и др. Концентрация окиси углерода в колошниковых газах вагранок достигает 15 %.

Количество окиси углерода выделяющейся при заливке чугуна и стали, зависит от времени пребывания отливки в цехе и массы отливки.

Углекислый газ, применяемый для химической сушки (твердения) песчано-глинистых форм, не токсичен, однако при большом количестве его в воздухе рабочей зоны уменьшается содержание кислорода, что может вызвать тягостное ощущение и даже явление удушья (асфиксию).

В литейном производстве основными источниками загрязнения атмосферы являются плавильные агрегаты: вагранки и электродуговые печи. При выплавке 1 т жидкого металла из вагранки выбрасывается до 1000 м<sup>3</sup>/ч газа, содержащего 10 – 20 кг пыли и 180 – 200 кг оксида углерода. Концентрация пыли в газе составляет 10 – 30 г/м<sup>3</sup>, при этом содержание фракций менее 10 мкм достигает 30 %.

Ваграночные газы содержат до 25 % оксида углерода, что требует установки устройств для его дожигания перед выбросом в атмосферу. Большинство эксплуатирующихся в нашей стране вагранок – это открытые вагранки производительностью до 5 т/ч. Для очистки газов, выбрасываемых из открытых вагранок, от пыли наибольшее распространение в России получили размещённые на шахте вагранки искрогасители, как сухие, так и мокрые. Эффективность пылеулавливания сухих искрогасителей 25 – 30 %, мокрых 50 – 85 %.

#### *Классификация устройств для очистки воздуха*

Пылеулавливающее оборудование при всем его многообразии может быть классифицировано по ряду признаков: назначению, основному способу действия, эффективности, конструктивным особенностям. Классификация пылеулавливающего оборудования дана в ГОСТ 25199–82. «Оборудование пылеулавливающее. Классификация».

Оборудование, применяемое для очистки от пыли воздуха в системах вентиляции, кондиционирования и воздушного отопления, а

также для защиты от загрязнения пылью воздушной среды зданий, сооружений и прилегающих к ним территорий, подземных и открытых горных выработок, подразделяется на следующие типы:

- оборудование, применяемое для очистки от взвешенных частиц пыли воздуха, подаваемого в помещения системами приточной вентиляции, кондиционирования и воздушного отопления – *воздушные фильтры*;
- оборудование, применяемое для очистки от пыли воздуха, выбрасываемого в атмосферу системами вытяжной вентиляции – *пылеуловители*.

Пылеулавливающее оборудование в зависимости от способа отделения пыли от воздушного потока применяют в следующих исполнениях: оборудование для улавливания пыли сухим способом, при котором отделенные от воздуха частицы пыли осаждаются на сухую поверхность; оборудование для улавливания пыли мокрым способом, при котором отделение частиц от воздушного потока осуществляется с использованием жидкостей.

Пылеулавливающее оборудование по принципу действия подразделяется на группы, по конструктивным особенностям – на виды и действует по сухому (табл. 1.1) и мокрому (табл. 1.2) способу.

**Таблица 1.1 – Группы и виды пылеулавливающего оборудования для улавливания пыли сухим способом**

Группа оборудования	Вид оборудования	Область применения	
		воздушных фильтров	пылеуловителей
Гравитационное	полое	–	+
	полочное	–	+
Инерционное	камерное	–	+
	жалюзийное	–	+
	циклонное	–	+
	ротационное	–	+
Фильтрационное	тканевое	–	+
	волокнистое	+	–
	зернистое	–	+
	сетчатое	+	–
	губчатое	+	–
Электрическое	однозонное	–	+
	двухзонное	+	+

*Примечание.* Знак «+» означает применение; знак «–» означает неприменение.

Пылеулавливающее оборудование, в котором отделение пыли от воздушного потока осуществляется последовательно по принципу действия, конструктивным особенностям и способу очистки, относят к

комбинированному пылеулавливающему оборудованию.

**Таблица 1.2 – Группы и виды пылеулавливающего оборудования для улавливания пыли мокрым способом**

Группа оборудования	Вид оборудования	Область применения	
		воздушных фильтров	пылеуловителей
Инерционное	циклонное	–	+
	ротационное	–	+
	скрубберное	–	+
	ударное	–	+
Фильтрационное	сетчатое	+	–
	пенное	–	+
Электрическое	однозонное	–	+
	двухзонное	+	+
Биологическое	биофильтр	–	+

*Примечание.* Знак «+» означает применение; знак «–» означает неприменение.

На практике для очистки от пылегазовых выбросов применяются различные очистные устройства. При выборе очистного устройства учитывают физико-химические свойства выделяющихся вредных веществ, т. е. их состав и особенности по отношению к улавливающим средам, размер пылевых частиц, удельный и объемный веса материала частиц, количество и температуру выделяющихся газов, особенности технологического режима работы печей, интенсивность выделения пыли, предельно допустимые концентрации ее в поле очистки, возможности размещения очистного устройства в цехе и др.

Классификация пылеулавливающего оборудования согласно ГОСТ 25199–82 приведена на рис.1.1.

При выборе способа очистки от пыли необходимо также учитывать агрессивность или взрывоопасность газовых компонентов. Например, при промывке водой газов, содержащих сернистые соединения, образуются кислоты. Следовательно, в этом случае должны быть применены кислотоупорные материалы. При наличии в очищаемых газах взрывоопасных компонентов нельзя допускать применения очистителей, в которых могут образоваться искры, так как последние могут вызвать взрыв.

Следует также учитывать способность очистителя улавливать пыль соответствующей дисперсности, особенно частиц размером менее 5 мкм, которые наиболее опасны для здоровья человека. При этом конечная концентрация пыли не должна превышать допустимые санитарные нормы. На работу очистного устройства может оказывать влияние начальная концентрация пыли, а также ее свойства.

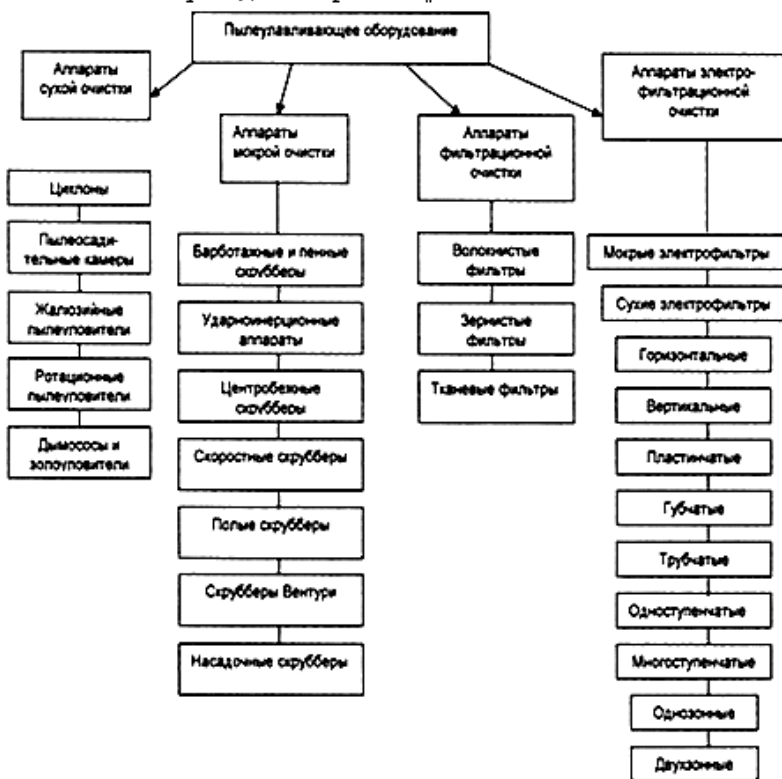


Рис. 1.1. Классификация пылеулавливающего оборудования

Работу пылеочистного устройства характеризуют следующие технико-экономические показатели: степень очистки газов, при этом различают общую весовую степень очистки, которая относится ко всей массе частиц, и фракционную степень очистки газов для каждой фракции отдельно; гидравлическое сопротивление очистного устройства; стоимость пылеуловителя; эксплуатационные расходы на очистку  $1 \text{ м}^3$  газов, габаритные размеры и вес; потребление различных видов энергии и т. д.

### *Контрольные вопросы*

1. Каковы удельные объемы выбросов вредных веществ при плавке металлов в литейных печах?
2. какие трудности возникают при очистке воздушной среды

литейных цехов от пыли и газов?

3. Какие вредные вещества выделяются при плавке металлов?
4. Приведите классификацию пылеулавливающего оборудования.
5. От чего зависит выбор пылеулавливающего устройства?

#### 1.4 РАСЧЕТ ИНДУКЦИОННОЙ ТИГЕЛЬНОЙ ПЕЧИ

В индукционных тигельных печах (печи без железного сердечника) в литейном производстве выплавляют различные металлы и сплавы (сталь, чугун, медь, бронзу, алюминий и т.д.).

*Принцип действия тигельной печи* состоит в том, что расплавляемый металл помещают в пространство, пронизываемое переменным магнитным потоком. Под действием возникающей ЭДС в металле течет ток, металл нагревается и плавится.

Индуктор тигельной печи имеет форму катушки. Внутри индуктора расположен тигель из огнеупорного материала. Внутреннее пространство тигля заполняется расплавленным металлом. Тигель защищает индуктор от воздействия жидкого металла. Толщина стенки тигля, т.е. расстояние между индуктором и жидким металлом, влияет на электрические параметры печи: чем толще стенка, тем большее количество магнитных силовых линий, пронизывающих катушку, не участвует в нагреве металла.

Из-за наличия тигля печи имеют небольшой  $\cos \varphi$ . Для того, чтобы не загружать электрическую сеть большой реактивной мощностью, параллельно индуктору подключают конденсаторы. Число подключаемых конденсаторов по ходу плавки изменяется, т.к. меняется в процессе нагрева электрическое сопротивление шихты, а в некоторых случаях и ее магнитные свойства.

По контуру, включающему индуктор и конденсаторную батарею, проходит ток большой величины. Поэтому для соединения индуктора с конденсаторной батареей используют шины и кабель большого сечения.

Магнитный поток, создаваемый индуктором, проходит по замкнутым линиям внутри его и снаружи. В зависимости от способа проведения магнитного потока с внешней стороны индуктора различают *открытую, экранированную и закрытую конструкции печей.*

##### *Печи открытой конструкции*

Магнитный поток с внешней стороны индуктора проходит по воздуху. Силовые линии магнитного поля пронизывают пространство, окружающее индуктор. Конструктивные элементы печи, например детали ее каркаса, должны быть неметаллическими или их следует

располагать на таком расстоянии от индуктора, чтобы магнитное поле не оказывало на них влияния. Вблизи с индуктором используют элементы из дерева или асбоцемента. Элементы из немагнитных металлов применяют на достаточно большом расстоянии от индуктора. Элементы из углеродистой стали также должны быть удалены на большое расстояние от индуктора (не менее одного его диаметра). Открытая конструкция применяется в печах небольших габаритных размеров.

#### *Печи экранированной конструкции*

Магнитный поток с внешней стороны индуктора отделяется от стальных конструкций экраном из меди. Медь имеет небольшое электрическое сопротивление, а т.к. выделение мощности в теле, помещенном в электромагнитном поле, зависит от его сопротивления, то в медном экране энергия поля поглощается в меньшем количестве. Стальные конструкции при наличии экрана могут быть расположены ближе к индуктору, что уменьшает габаритные размеры печи.

#### *Печи закрытой конструкции*

Магнитный поток с внешней стороны индуктора проходит по радиально расположенным пакетам трансформаторной стали – магнитопроводам. Магнитная проницаемость трансформаторной стали во много раз больше магнитной проницаемости воздуха, поэтому практически весь магнитный поток проходит по магнитопроводам. Магнитопроводы целесообразно располагать как можно ближе к индуктору. Это уменьшает размеры печи и увеличивает жесткость индуктора.

Число магнитопроводов и их размеры определяют в зависимости от мощности печи, частоты питающего тока, характеристики трансформаторной стали и т.д. Закрытую конструкцию широко применяют печи большой емкости.

#### *Конструктивные особенности тигельных печей*

Индукционные тигельные печи состоят из следующих основных частей: *индуктора, магнитопроводов, каркаса, футеровки и механизма наклона печи.*

*Индуктор* представляет цилиндрическую катушку из медной трубки. Индуктор изготавливают, из меди т. к. медь поглощает меньше энергии электромагнитного поля, чем сталь или другие металлы. Толщину стенки медной трубки выбирают в зависимости от частоты питающего тока. С целью обеспечения минимальных потерь энергии в трубке толщина ее стенки должна быть на 30 % больше глубины проникновения тока. Размер отверстия в трубке обусловлен расходом охлаждающей ее воды. Поперечное сечение трубки зависит от тока,

протекающего по индуктору. Между витками индуктора устанавливают электроизоляционные прокладки. Индуктор покрывают слоем эпоксидной смолы, что обеспечивает надежную межвитковую электрическую изоляцию. На рис. 1.2 изображен поперечный разрез индукционной тигельной печи.

*Магнитопровод.* Во избежание нагрева металлических частей печи полями рассеяния вокруг индуктора устанавливают внешний магнитопровод из листовой трансформаторной стали. Магнитопровод состоит из отдельных пакетов, расположенных равномерно по периметру индуктора. На печах промышленной частоты магнитопроводы изготавливают из стали толщиной 0,5 мм, а на печах повышенной частоты — из стали толщиной 0,35 мм. Пакеты прикрепляют к каркасу печи болтами и устанавливают вплотную к индуктору, что обеспечивает жесткость конструкции и минимальное рассеяние магнитного потока. Расположение пакетов магнитопровода по периметру печи показано на рис. 1.2.

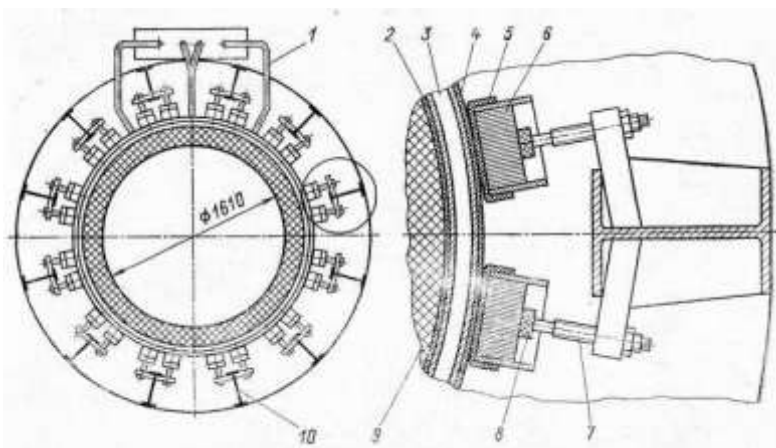


Рис. 1.2. Поперечный разрез индукционной тигельной печи: 1 – электровыводы; 2, 4 – асбест; 3 – трубка индуктора; 5, 8 – изоляторы; 6 – магнитопровод; 7 – прижимной винт; 9 – футеровка печи; 10 – балка каркаса печи

*Каркас.* Каркасы печей небольшой емкости выполняются из дерева и асбоцемента, а также из немагнитных металлов. Каркасы печей большой емкости должны иметь большую жесткость и прочность, поэтому их изготавливают из профильной стали (швеллера, уголка, балки).

*Футеровка (рис. 1.3).* Условия работы индукционной печи



предъявляют определенные требования к ее футеровке (защитная внутренняя облицовка из кирпичей, плит тепловых агрегатов, печей, топок и т.д. Различают футеровки огнеупорные, химически стойкие и теплоизоляционные). Футеровка должна выдерживать механическое воздействие жидкого металла.

*Механизм наклона.* При разливке металла каркас печи с индуктором и футеровкой в сборе необходимо наклонять на 95 – 100 град. Печь наклоняют гидравлическим цилиндром, соединенным с помощью шарниров с рамой печи, установленной на фундаменте, и ее каркасом.

### Задание

Рассчитать индукционную тигельную печь со следующими данными (табл. А1, прил. А).

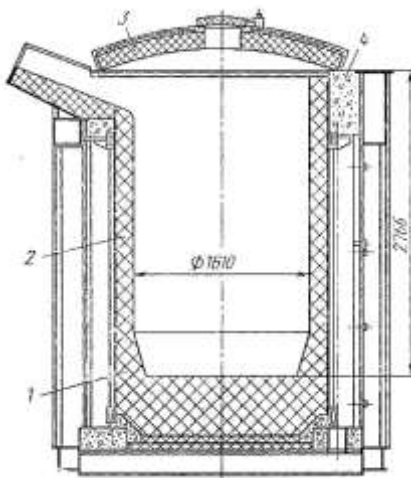


Рис. 1.3. Футеровка индукционной тигельной печи:  
1 – подина, 2 – тигель, 3 – крышка, 4 – верхнее кольцо

### Ход решения

1. Полезная емкость тигля, т

$$G = (T_1 + T_2) \Pi,$$

где  $T_1$  и  $T_2$  – продолжительность плавки, а также загрузки и разливки печи, ч;  $\Pi$  – производительность печи, т/ч.

2. Объем жидкого металла в печи, м<sup>3</sup>

$$V_m = \frac{G}{\gamma_m},$$

где  $\gamma_m$  – плотность жидкого металла, т/м<sup>3</sup> (табл. 1.3).

**Таблица 1.3 – Теоретический удельный расход энергии на расплавление и перегрев металла**

Металл	Температура, °С	Плотность, т/м <sup>3</sup>	Расход энергии, кВт · ч/т	
			Расплавление и перегрев	Перегрев на 1 °С
Алюминий	20	2,7	200	0,298
	800	2,5		
Медь	20	8,9	215	0,158
	1200	8,3		
Сталь и чугун	20	7,8	355	0,23
	800	7,8		
	1500	7,2		

3. Внутренний диаметр тигля, м (рис. 1.4)

$$d_0 = \sqrt[3]{\frac{4}{\pi} \cdot \frac{V_m}{B}},$$

где  $B$  – коэффициент, зависящий от емкости печи:  $B = (1,5 - 2)$  для  $G \leq 1$  т;  $B = (1,35 - 1,5)$  для  $G = (1 - 3)$  т;  $B = (1 - 1,35)$  для  $G \geq 3$  т.

4. Высота металла в тигле, м

$$h_m = B d_0.$$

5. Толщина стенки тигля, мм

при  $G \leq 0,5$  т

$$s_1 = (0,25 - 0,3) d_0,$$

при  $G = (0,5 - 3)$  т

$$s_1 = (0,15 - 0,25) d_0,$$

при  $G \geq 3$  т

$$s_1 = (0,1 - 0,15) d_0.$$

6. Толщина изоляционного слоя асбеста между тиглем и индуктором, м

$$S_2 = 0,005 \text{ для } G \leq 3 \text{ т;}$$

$$S_2 = (0,005 - 0,01) \text{ для } G = (3 - 15) \text{ т;}$$

$$S_2 = (0,01 - 0,015) \text{ для } G \geq 15 \text{ т.}$$

7. Внутренний диаметр индуктора, м

$$D_{\text{и}} = d_0 + 2(s_1 + s_2).$$

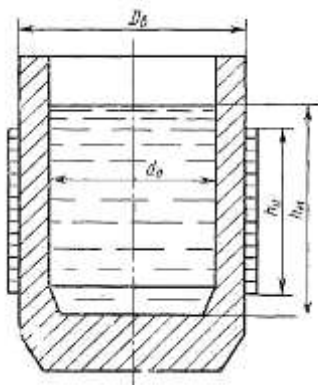


Рис. 1.4. К расчету индукционной тигельной печи

8. Полезная тепловая мощность, выделяющаяся в садке, кВт

$$P_{пол} = W_{теор} \Pi,$$

где  $W_{теор}$  — теоретический удельный расход энергии, кВт · ч/т (см. табл. 1.3).

9. Активная мощность печи, кВт

$$P_a = \frac{P_{пол}}{\eta_{терм}},$$

где  $\eta_{терм}$  — термический КПД печи, равный 0,7—0,9.

10. Минимальная частота питающего тока, Гц

$$f_{min} = 25 \cdot 10^6 \frac{\rho_m}{\mu_m d_c^2},$$

где  $\rho_m$  — удельное электрическое сопротивление садки, Ом·м;  $\mu_m$  — относительная магнитная проницаемость садки;  $d_c$  — диаметр садки, м (для жидкого металла  $d_c = d_0$  (см. рис. 1.4), для металлолома в качестве параметра  $d_c$  принимается средний размер куска металла).

Расчет минимальной частоты питающего тока выполняется для следующих характерных условий: тигель заполнен твердой шихтой, обладает и не обладает магнитными свойствами (для стали и чугуна), и жидким металлом.

А. Тигель заполнен твердой шихтой. Выбираем соответствующие температуру  $t$ , удельное электрическое сопротивление  $\rho_m$  и относительную магнитную проницаемость  $\mu_m$  по табл. 1.4, средний размер куска металла принимаем равным 0,2 м.

Б. Тигель заполнен твердой шихтой с температурой 800 °С

(условие выполняется только для чугуна или стали, см. табл. 1.4).

В. Тигель заполнен жидким металлом (см. табл. 1.4). Диаметр садки в этом случае равен внутреннему диаметру тигля.

Согласно заданию частота тока — 50 Гц, но печь должна работать на режиме с “болотом” (с металлом, постоянно находящимся в печи), т. е. в ней постоянно находится жидкий металл, в который добавляют металлолом. Величина “болота” примерно 60—65 % общей емкости печи.

**Таблица 1.4 – Глубина проникновения тока в некоторые металлы, мм**

Металл	$t, ^\circ\text{C}$	$\rho_m, \text{ Ом} \cdot \text{м} \cdot 10^{-8}$	$\mu_m$	Частота тока, Гц			
				50	500	2500	10 000
Медь	20	2	1	10	3,2	1,4	0,7
	1200	21	1	33	10,3	4,6	2,3
Сталь и чугун	20	13–25	40	5	1,6	0,7	0,4
	800	110	1	75	2,3	10,5	5,2
	1500	125	1	80	2,5	11,2	5,6
Алюминий	20	3	1	12	3,9	1,7	0,9
	800	24	1	35	11,0	4,9	2,5

11. Высота индуктора, м

$$h_u = (0,7 - 1,3) h_m.$$

Для печей повышенной частоты высота индуктора больше высоты металла в тигле, для печей промышленной частоты она меньше высоты металла в тигле примерно на 15 %, т. е.

$$h_u = 0,85 h_m.$$

12. Глубина проникновения тока в садку, м

$$\Delta_9 = 503 \sqrt{\frac{\rho_m}{\mu_m f}},$$

где  $f$  — частота тока питающего индуктор, Гц.

13. Напряженность магнитного поля в индукторе, А/м

$$H = \frac{10^3}{k_s} \sqrt{\frac{P_a}{6,2 d_0 h_m \sqrt{\rho_m \mu_m f} A_m}},$$

где  $k_s$  — коэффициент, учитывающий самоиндукцию и взаимоиндукцию между индуктором и садкой,  $k_s = 0,85—0,95$ ;  $A_m$  — поправочный коэффициент активной мощности, учитывающий кривизну металлической садки в тигле и зависящий от отношения диаметра садки к глубине проникновения тока в нее, т. е.  $d_0 / \Delta_9$  (рис. 1.5).

14. Толщина стенки индуктора, мм, определяется из условий минимальных потерь активной мощности в индукторе

$$s_{mp} = 1,3 \cdot 10^3 \cdot \Delta_{\text{э.и.}}$$

15. Потери активной мощности в индукторе, кВт

$$P_{a.u} = 6,2 \cdot 10^{-6} H^2 D_6 h_u \sqrt{\rho_u \mu_u f} \cdot \frac{A_u}{k_{\text{з.и.}}},$$

где  $\rho_u$  — удельное электрическое сопротивление медного индуктора,  $\rho_u = 2 \cdot 10^{-8}$  Ом·м (см. табл. 1.4);  $\mu_u$  — относительная магнитная проницаемость материала индуктора;  $A_u$  — поправочный коэффициент активной мощности, учитывающий кривизну индуктора согласно отношению  $D_B/\Delta_{\text{э.и.}}$  (рис. 1.6), для медного индуктора  $\Delta_{\text{э.и.}} = 0,013$ ;  $k_{\text{з.и.}}$  — коэффициент заполнения индуктора, равный 0,7—0,9.

16. Реактивная мощность в индукторе, квар

$$P_p = 6,2 \cdot 10^{-6} H^2 D_6 h_u \frac{R_u}{k_{\text{з.и.}}},$$

где  $R_u$  — поправочный коэффициент реактивной мощности, учитывающий кривизну индуктора, определяют по штриховым линиям для различных  $D_B/\Delta_{\text{э.и.}}$  (см. рис. 1.6).

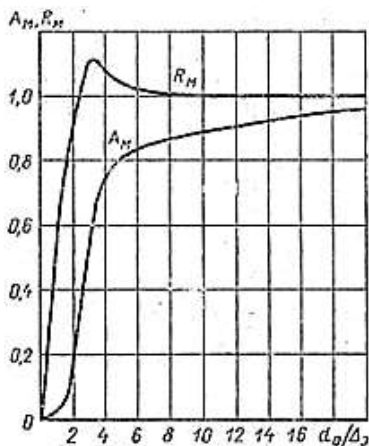


Рис. 1.5. Поправочные коэффициенты активной и реактивной мощности для садки

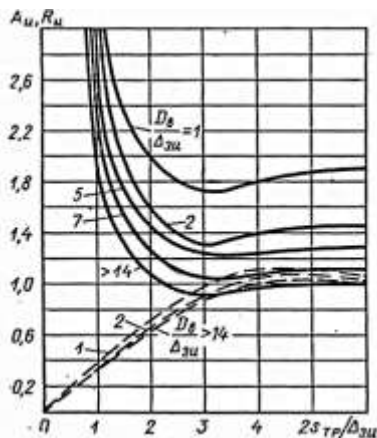


Рис. 1.6. Поправочные коэффициенты активной и реактивной мощности для индуктора

17. Общая активная мощность, кВт

$$P_{o.a} = P_a + P_{a.u}.$$

18. Общая реактивная мощность, квар

$$P_{o.p} = P_{p.c} + P_{p.z} + P_{p.u}.$$

19. Полная мощность системы индуктор-садка, кВ·А

$$P_o = \sqrt{P_{o.a}^2 + P_{o.p}^2}.$$

20. Ток в индукторе, А

Печь подключают к трансформатору с максимальным напряжением 2430 В, плавности регулирования достигают переключением на различные ступени (10 ступеней).

$$I = 10^3 \frac{P_o}{U_u},$$

где  $U_u$  — напряжение на индукторе, В.

21. Число витков в индукторе

$$W = \frac{Hh_u}{J}.$$

22. Шаг витка индуктора (рис. 1.7), м

$$\tau = \frac{h_u}{W}.$$

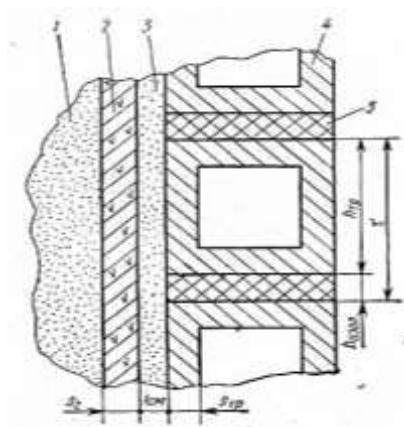


Рис. 1.7. К расчету шага витка индуктора:

1 — тигель; 2 — асбест; 3 — кварцитовая обкладка;  
4 — индуктор; 5 — межвитковая изоляция

23. Высота трубки индуктора, м

$$h_{tp} = \tau k_{з.и}.$$

24. Толщина изоляции между витками, м

$$h_{\text{изол}} = \tau - h_{\text{мр}}.$$

25. Напряжение тока между витками индуктора, В

$$U_{\text{е}} = \frac{U_{\text{и}}}{W}.$$

26. Напряжение на 1 см изоляции между витками, В

$$U_{1,0} = 1 \cdot 10^{-2} \frac{U_{\text{е}}}{h_{\text{изол}}},$$

Допускается не более 200 В на 1 см изоляции.

27. Ширина трубки индуктора, мм

Размер трубки в поперечном сечении определяется из условия, при котором плотность тока  $j$  должна быть не более 20 А/мм<sup>2</sup>

$$s = \sqrt{\frac{4I}{j\pi}}.$$

28. Естественный угол  $\cos \phi$  печи

$$\cos \phi = \frac{P_{\text{о.а}}}{P_{\text{о}}}.$$

29. Емкость конденсаторной батареи, мкФ

$$C = \frac{P_{\text{о.р}} 10^9}{2\pi f U_{\text{к}}^2},$$

где  $U_{\text{к}}$  — напряжение на конденсаторе, В.

Мощность конденсаторной батареи  $P_{\text{с}}$  в квар должна быть равна общей реактивной мощности, т. е.  $P_{\text{с}} = P_{\text{ор}}$ . Тогда контур «индуктор — конденсаторная батарея» рассчитывают на полную мощность системы  $P_{\text{о}}$ , а подводящую электрическую линию — только на общую активную мощность  $P_{\text{о.а}}$ . Напряжение на конденсаторе принимаем равным напряжению высшей ступени трансформатора, т.е. 2430 В.

30. Общее сечение магнитопроводов, м<sup>2</sup>

$$Q_{\text{мг}} = \frac{U_{\text{и}}}{4,44 f W B},$$

где  $B$  — индукция в магнитопроводе, Вб/м<sup>2</sup>, при частоте 50 Гц В = 0,6—1.

31. Сечение одного магнитопровода, мм<sup>2</sup>

$$q_{\text{мг}} = 10^6 \frac{Q_{\text{мг}}}{N_{\text{мг}}}.$$

где  $N_{\text{мг}}$  — число пакетов магнитопровода вокруг индуктора.

Исходя из величины  $q_{\text{мг}}$ , подбираются длина и ширина магнитопровода, мм.

### *Контрольные вопросы*

1. Каков принцип работы тигельной печи?
2. Как толщина стенки тигля влияет на электрические параметры печи?
3. Опишите конструкции печей в зависимости от способа проведения магнитного потока с внешней стороны индуктора.
4. Из каких основных частей состоят индукционные тигельные печи? Опишите их.
5. Каковы основные требования безопасности при обслуживании индукционных печей?

### 1.5 РАСЧЕТ ИНДУКЦИОННОЙ КАНАЛЬНОЙ ПЕЧИ

Канальные печи или, как их называют, печи с железным сердечником используют в литейном производстве, в основном в качестве миксеров и раздаточных печей для черных и цветных сплавов. При производстве ковкого чугуна канальные печи применяют для перегрева до  $1550^{\circ}\text{C}$  чугуна, выплавленного в вагранках. Канальные печи используют также для плавки цинка, меди и сплавов.

*Принцип действия канальной печи* состоит в том, что переменный магнитный поток  $\Phi$  пронизывает замкнутый контур, представляющий собой кольцо из жидкого металла, и индуцирует в этом кольце ЭДС. Электрический ток  $I_2$  проходит по жидкому металлу, разогревая его. Переменный магнитный поток создается первичной катушкой, в которой течет ток  $I_1$  и которую подключают к сети переменного тока промышленной частоты 50 Гц, напряжением  $U_1$ . Для усиления магнитного потока, создаваемого катушкой, применяют замкнутый магнитопровод из трансформаторной стали с  $\mu = 1500\text{—}2000$  (рис. 1.8).

Кольцо жидкого металла, окруженного со всех сторон огнеупорным материалом, заключенным в стальной корпус, пространство в котором заполняется жидким металлом и имеет форму изогнутого канала. Наличие канала является характерной особенностью печей этого типа. Рабочее пространство печи соединено с каналом двумя отверстиями, поэтому при ее заполнении жидким металлом образуется замкнутый контур. Если в печи нет металла или его недостаточно для образования замкнутого контура, печь работать не сможет. В этом случае при подаче напряжения на первичную катушку в канале, являющемся вторичной катушкой, создается вихревое электрическое поле и соответствующая ЭДС. Однако из-за того, что в канале нет металла, его электрическое сопротивление велико и ток в нем не протекает. При разомкнутом вторичном контуре



в первичной катушке протекает ток небольшой силы, необходимый для намагничивания магнитопровода, и называется током холостого хода.

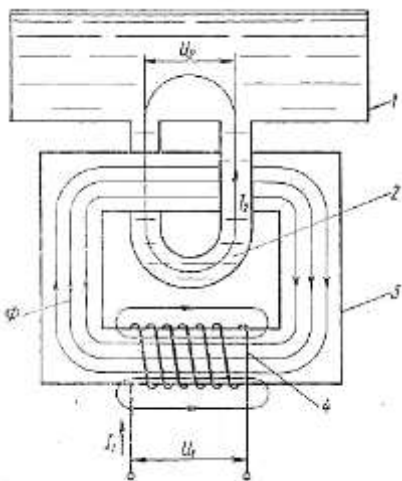


Рис. 1.8. Принципиальная схема индукционной каналной печи: 1 — ванна печи; 2 — канал; 3 — магнитопровод; 4 — первичная катушка

ЭДС, создаваемая в канале, в  $W$  раз меньше напряжения, подводимого к первичной катушке ( $W$  — число витков катушки). Сила тока, протекающего по каналу при определенной ЭДС, зависит от полного сопротивления канала, равного геометрической сумме активного и реактивного сопротивлений канала.

При протекании тока вокруг канала создается магнитное поле. Чем больше мощность этого поля, тем больше реактивная мощность печи и тем меньше  $\cos\phi$ . Направление магнитного поля канала противоположно направлению магнитного потока магнитопровода. Для уменьшения размагничивающего влияния магнитного потока канала на магнитный поток магнитопровода канал располагают вокруг той части магнитопровода, на котором находится первичная катушка. Расстояние от канала до катушки выбирают минимальным для уменьшения магнитного поля канала.

Температура металла в канале на  $100\text{—}150\text{ }^{\circ}\text{C}$  выше температуры металла в ванне печи, поэтому горячий металл поднимается в ванну, а из нее в канал поступает более холодный металл. При небольшом уровне металла в ванне может произойти его сжатие, при этом столб

металла в канале разрывается, а металл из него выталкивается. Печь отключается из-за разрыва электрического контура, создаваемого жидким металлом в канале.

В канальных печах всегда должно находиться определенное количество жидкого металла. Это количество определяется исходя из того, чтобы масса столба жидкого металла над каналом превышала электродинамическую силу, выталкивающую металл из канала.

На рис. 1.9 показана индукционная канальная печь для перегрева чугуна. Печь представляет собой горизонтально расположенный цилиндр с наружным и внутренним диаметрами. Металл выдают из печи поворотом или наклоном ванны, а в некоторых случаях созданием избыточного давления газа над уровнем металла в ванне. Для этого печь выполняют герметичной и в нее подают воздух или инертный газ. Под давлением газа металл в ванне снижается и нужное его количество вытекает из печи по сифонному желобу.

Индукционная канальная печь состоит из основных узлов: каркаса, футеровки, индукционных единиц, механизма наклона и электрооборудования.

*Каркас печи* должен быть достаточно прочным и жестким. Его изготавливают из низкоуглеродистой стали толщиной 30—70 мм. В нижней части каркаса имеются окна с фланцами, к которым присоединяют индукционные единицы.

*Футеровка.* Продолжительность работы печи до очередного ремонта зависит от состояния ее футеровки. В зависимости от назначения печи могут применяться различные огнеупорные материалы.

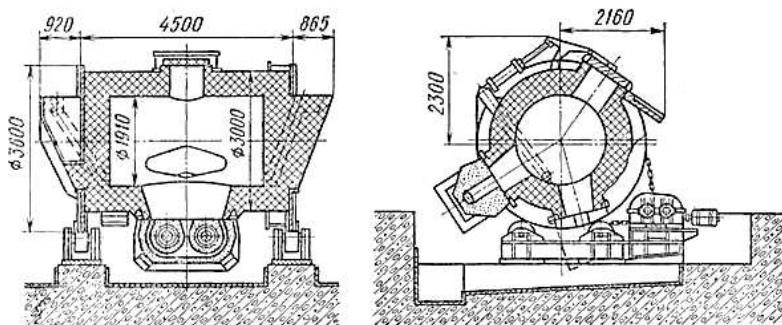


Рис. 1.9. Индукционная канальная печь для перегрева чугуна

*Индукционные единицы.* Каждая единица состоит из стального

корпуса, футеровки, магнитопровода и первичной катушки. Корпус единицы не должен образовывать замкнутый контур вокруг магнитопровода, иначе в нем будет индуцироваться вихревой ток. Из этих соображений корпус выполняют разъемным и отдельные его части изолируют друг от друга прокладками.

Индукционную единицу футеруют из огнеупорного бетона или набивной массы.

Магнитопровод индукционной единицы собирают из отдельных пластин трансформаторной стали толщиной 0,5 мм. Для уменьшения потерь от вихревых токов отдельные пластины изолированы друг от друга.

*Механизм наклона печи.* В зависимости от типа печи применяют:

- гидравлический привод, включающий насосную станцию и гидроцилиндр;
- электромеханический привод, состоящий из электродвигателя, редуктора и цепной передачи.

В обоих случаях механизм обеспечивает плавный наклон печи.

*Электрооборудование печи.* В комплект печной установки входит трансформатор, конденсаторная батарея, щиты управления и питающие кабели. Трансформатор печи подключают к сети с напряжением 6—10 кВ. На вторичной стороне трансформатора предусмотрено до 10 ступеней напряжения для регулирования мощности печи.

На рис. 1.10 показана съемная индукционная единица, присоединяемая к каркасу печи с помощью болтов. Данная индукционная единица имеет две катушки и два магнитопровода. Вокруг каждой катушки имеется свой канал, заполняемый жидким металлом. Участки каналов между катушками соединены в общий канал большего сечения.

### *Задание.*

Рассчитать индукционную канальную печь по исходным данным, представленным в табл. А2 (см. прил. А).

### *Ход решения*

1. Полезная тепловая мощность, передаваемая жидкому металлу, кВт

$$P_{\text{пол}} = q_{\text{теор}} \Delta t \Pi,$$

где  $q_{\text{теор}}$  – теоретический удельный расход энергии на перегрев металла на 1 °С, кВт·ч/т (см. табл. 1.3);  $\Delta t$  – температура перегрева металла, °С;  $\Pi$  – производительность печи, т/ч.

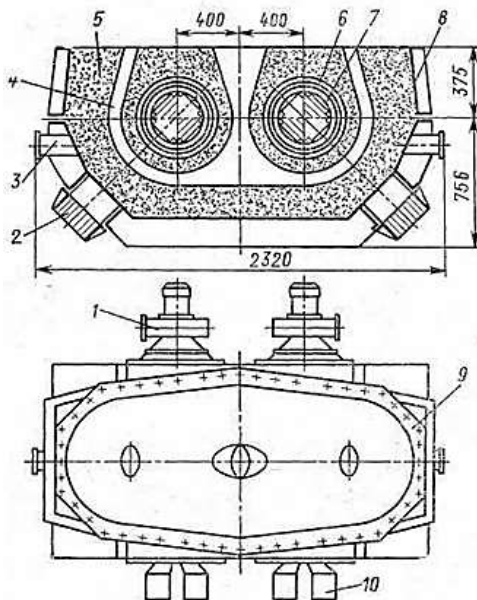


Рис. 1.10. Индукционная единица канальной печи:  
 1 — вентилятор для охлаждения катушки; 2 — магнитопровод;  
 3 — штырь; 4 — канал; 5 — футеровка; 6 — экран;  
 7 — катушка; 8 — корпус; 9 — рама; 10 — вывод

## 2. Активная мощность печи, кВт

$$P_a = \frac{P_{пол}}{\eta_{терм}},$$

где  $\eta_{терм}$  — термический КПД печи,  $\eta_{терм} = (0,85 - 0,95)$ .

## 3. Активная мощность индукционной единицы, кВт

$$P_{a.инд} = \frac{P_a}{N},$$

где  $N$  — число индукционных единиц на печи.

## 4. Глубина проникновения тока в жидкий металл, м

$$\Delta_s = 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}},$$

где  $\rho$  — удельное электрическое сопротивление жидкого металла, Ом·м (см. табл. 1.4);  $\mu$  — относительная магнитная проницаемость выплавляемого металла;  $f$  — частота питающего тока, Гц.

## 5. Форма поперечного сечения канала

Для расчета принимается канал прямоугольной формы со следующими параметрами:

ширина канала, мм

$$b_k = \Delta_3;$$

высота канала, мм

$$h_k = (1,5 - 3)b_k;$$

радиус закруглений принять  $r_k = 20$  мм. Тогда площадь поперечного сечения канала, мм<sup>2</sup>

$$S_k = b_k h_k - 0,86r^2.$$

## 6. Сечение магнитопровода, см<sup>2</sup>

$$S_{\text{мг}} = 0,3 \sqrt{\frac{P_{\text{а.инд}} \Psi 10^5}{B j_1 f \cos \varphi}},$$

где  $\Psi$  – отношение массы стали магнитопровода к массе меди первичной катушки (5—25 — при воздушном принудительном охлаждении катушки, 0,9—1,3 — при водяном);  $B$  – магнитная индукция в магнитопроводе, принимаем 1,5 Тл;  $j_1$  – допустимая плотность тока в катушке, А/мм<sup>2</sup> (принимаем  $j_1 \leq 4$  при воздушном принудительном охлаждении и  $j_1 = 20$  при водяном);  $\cos \varphi$  – коэффициент мощности индукционной единицы (для предварительных расчетов принять  $\cos \varphi = [0,6—0,75]$  для чугуна;  $\cos \varphi = [0,4—0,5]$  для алюминия).

## 7. Диаметр сердечника магнитопровода, мм

$$d_{\text{мг}} = \frac{10}{k_d} \sqrt{\frac{4S_{\text{мг}}}{\pi}},$$

где  $k_d$  — коэффициент заполнения окружности сердечником;  $k_d = (0,78—0,88)$ .

## 8. Наружный диаметр первичной катушки, мм

$$d_{\text{кат}} = d_{\text{мг}} + 2s_{\text{кат}},$$

где  $s_{\text{кат}}$  — толщина катушки, зависящая от числа рядов намотки и равная 20—50 мм.

## 9. Внутренний диаметр канала, мм

$$d_{\text{к.в}} = d_{\text{кат}} + 2s_1 + 2s_2,$$

где  $s_1$  — толщина футеровки между каналом и катушкой, мм ( $s_1 = (70—120)$  мм при плавке алюминия;  $s_1 = (135—180)$  мм — чугуна;  $s_1 = (65—70)$  мм — сплавов на медной основе и цинка);  $s_2$  — зазор между катушкой и футеровкой, равный 10—15 мм.

## 10. Средний диаметр канала, мм

$$d_{\text{к.ср}} = d_{\text{к.в}} + b_{\text{к}}.$$

#### 11. Длина канала, мм

Под длиной канала подразумевается длина замкнутого контура, проходящего как по самому каналу, так и по ванне печи (рис. 1.11). Длину канала определяем по длине его средней линии. По длине канал состоит из четырех участков: одного криволинейного длиной  $\frac{\pi d_{\text{к.ср.}}}{2}$ , двух вертикальных каждый длиной  $\frac{d_{\text{к.ср.}}}{2}$  и одного горизонтального длиной  $d_{\text{к.ср.}}$ . Тогда

$$l_{\text{к}} = \frac{\pi d_{\text{к.ср.}}}{2} + 2d_{\text{к.ср.}}$$

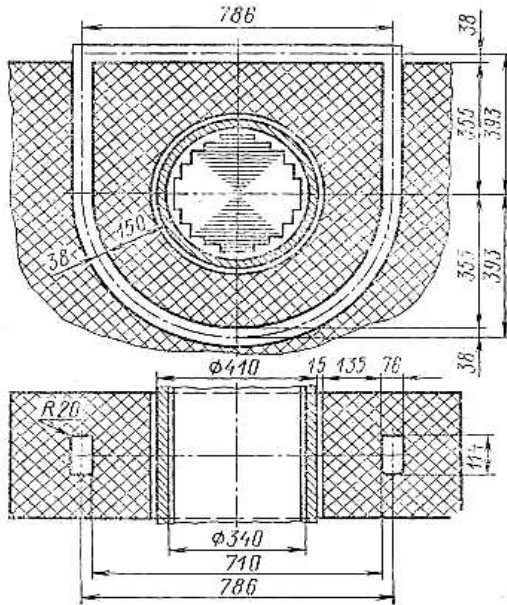


Рис. 1.11. К расчету размеров индукционной единицы канальной печи

#### 12. Активное сопротивление канала, Ом

$$R = \rho \frac{l_{\text{к}}}{S_{\text{к}}}.$$

### 13. Индуктивность канала, Гн

Индуктивность канала определяют как сумму внешней и внутренней индуктивностей отдельных его участков. Внешнюю индуктивность определяют для пространства, заключенного между каналом и первичной катушкой. Внешняя индуктивность какого-либо участка, Гн

$$L_{\text{к.вн}} = 2l_{\text{к-1}} \ln \frac{R_1}{R_2} 10^{-7},$$

где  $l_{\text{к-1}}$  - длина данного участка канала, м;  $R_1$  — расстояние от оси канала до катушки или противоположного участка канала, м;  $R_2$  — расстояние от оси канала до поверхности канала, м, т. е.  $R_2 = b_{\text{к}}/2$ .

Внутренняя индуктивность определяется для пространства, занимаемого самим каналом, Гн

$$L_{\text{к.в}} = 0,5l_{\text{к}} \cdot 10^{-7}.$$

Для принятой формы канала (см. рис. 1.11) внешняя индуктивность его отдельных участков различна (рис. 1.12). Необходимые параметры различных участков канала для расчета внешней индуктивности представлены в табл. 1.5.

Общая индуктивность канала, Гн

$$L_{\text{к}} = \sum L_{\text{к.вн}} + L_{\text{к.в}}.$$

### 14. Индуктивное сопротивление канала, Ом

$$X_1 = 2\pi f L_{\text{к}}.$$

### 15. Полное сопротивление канала, Ом

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}.$$

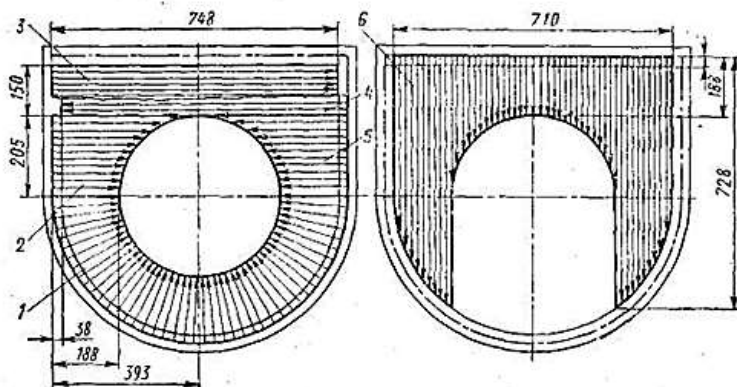


Рис. 1.12. К расчету индуктивности канала

**Таблица 1.5 – К расчету внешней индуктивности участков канала**

Участок канала	Характеристики участка	
	$l_{k-1}$	$R_1$
Криволинейный (см. рис. 1.12, поз. 1)	$\frac{\pi d_{к.ср.}}{2}$	$\frac{d_{к.ср.} - d_{к.вн.}}{2}$
Вертикальные (см. рис. 1.12, поз. 2 и 5)	$\frac{d_{к.вн.}}{2}$	$\frac{d_{к.ср.} - 0,5 d_{к.вн.}}{2}$
Вертикальные (см. рис. 1.12, поз. 3 и 4)	$\frac{d_{к.ср.} - b_k - d_{к.вн.}}{2}$	$d_{к.ср.} - \frac{b_k}{2}$
Горизонтальный (см. рис. 1.12, поз. 6)	$d_{к.ср.}$	$\frac{d_{к.ср.} - d_{к.вн.}}{4} + \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{d_{к.ср.}}{2}\right)^2 - \left(\frac{d_{к.вн.}}{2}\right)^2}$

16. Активное напряжение в канале, В

$$U_{а.к} = \sqrt{P_{а.инд} R}.$$

17.  $\cos \phi$  канала

$$\cos \phi = \frac{R}{Z}.$$

18. Полное напряжение в канале, В

$$U_k = \frac{U_{а.к}}{\cos \phi}.$$

19. Полная мощность индукционной единицы, кВт·А. Пренебрегая потерями в первичной катушке и магнитопроводе

$$P_{инд} = \frac{P_{а.инд}}{\cos \phi}.$$

20. Реактивная мощность индукционной единицы, квар

$$P_{р.инд} = \sqrt{P_{инд}^2 - P_{а.инд}^2}.$$

21. Полная мощность печи, кВт·А

$$P = NP_{инд}.$$

22. Реактивная мощность печи, квар

$$P_p = NP_{р.инд}.$$

23. Число витков первичной катушки

$$W = \frac{U_1}{U_k},$$

где  $U_1$  — напряжение, подаваемое на первичную катушку и зависящее от выбранного типа трансформатора, В.

24. Ток в первичной катушке, А



$$I_1 = \frac{P_{\text{инд}}}{U_1}.$$

25. Поперечное сечение витка первичной катушки, мм<sup>2</sup>

$$S_{\text{вит}} = \frac{I_1}{j_1},$$

где  $j_1$  — допустимая плотность тока в катушке, А/мм<sup>2</sup>.

26. Ширина витка катушки, мм

$$b_{\text{вит}} \geq 1,3\Delta_{\text{э.кат}},$$

где  $\Delta_{\text{э.кат}}$  — глубина проникновения тока в катушку, мм. Для медной катушки принимаем минимальную ширину витка 10 мм.

27. Высота витка катушки, мм

$$h_{\text{вит}} = \frac{S_{\text{вит}}}{b_{\text{вит}}}.$$

28. Длина первичной катушки, мм

$$\ell_{\text{кат}} = \frac{(h_{\text{вит}} + h_{\text{изол}})W}{k_{\text{сл}}},$$

где  $h_{\text{изол}}$  — толщина изоляции между витками, мм;  $k_{\text{сл}}$  — число слоев витков в катушке.

Для уменьшения длины катушки принимаем навивку в два слоя и толщину изоляции 1,5 мм.

### *Контрольные вопросы*

1. Каков принцип работы индукционной канальной печи?
2. Каково основное условие работы канальной печи?
3. Что такое ток холостого хода?
4. Как выбирают расстояние от канала до первичной катушки?
5. Опишите основные узлы индукционной канальной печи.
6. Каковы основные требования безопасности при обслуживании индукционных печей?

## 1.6. РАСЧЕТ ДУГОВОЙ ПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ

В дуговых электрических печах электрическая энергия превращается в тепловую в электрическом разряде, протекающем в газовой фазе или вакууме. В таком разряде или дуге можно выделить большое количество энергии и, следовательно, получить высокую температуру более 3000 °С.

Газовая среда является хорошим изолятором и не проводит электрический ток. Ионизация газа приводит к появлению заряженных частиц — электронов и ионов. В этих условиях газ проводит

электрический ток. Чем выше напряжение на электродах, тем больше электрический ток.

Дуговые печи делятся на следующие виды: прямого и косвенного действия и электронно-лучевые.

*Дуговые печи прямого действия.* Электрическая дуга возникает между электродом и расплавленным металлом. Это обеспечивает быстрый нагрев металла и, следовательно, высокую производительность. Печи этого типа — трехфазные, большой мощности, применяют для плавки черных металлов. Для плавки цветных металлов из-за интенсивного их испарения эти печи не применяют.

*Дуговые печи косвенного действия.* Электрическая дуга возникает между электродами, а расплавленный металл находится от дуги на некотором расстоянии. Угар и испарение металла в этих печах намного меньше, чем в печах прямого действия. Печи косвенного действия используются в основном для плавки цветных металлов.

*Электронно-лучевые печи.* В печах этого типа мощный пучок электронов, попадая на металл, нагревает и расплавляет его. Эти печи применяют для получения слитков особо чистых сталей и сплавов специального назначения.

В литейном производстве электродуговые печи используются для выплавки стали из металлического лома и для перегрева жидкого чугуна, получаемого в вагранках.

Электрический режим работы дуговой печи зависит от режима процесса плавки. При расплавлении металлического лома печь работает на максимальной мощности. При доводке жидкого металла до нужного химического состава мощность сравнительно невелика.

Регулировать режим печи можно, изменяя напряжение на электродах или длину дуги, т. е. силу тока дуги. В первом случае переключают трансформатор с одной ступени на другую, во втором — опускают или поднимают электроды. Печь подключают к трехфазной сети промышленной частоты напряжением 6 кВ. Для малых печей предусматривают 2—4 ступени напряжения трансформатора; для крупных печей до 25 ступеней, что позволяет для каждого режима плавки подбирать оптимальные режимы. В цепь высокого напряжения включают дроссель, который ограничивает силу тока при коротком замыкании (КЗ) электродов на металл.

На рис. 1.13 изображена дуговая электропечь емкостью 3 т. Печь состоит из узлов: стального кожуха (каркаса), механизма наклона, футеровки (под стены и свод), электродов и механизма перемещения электродов.

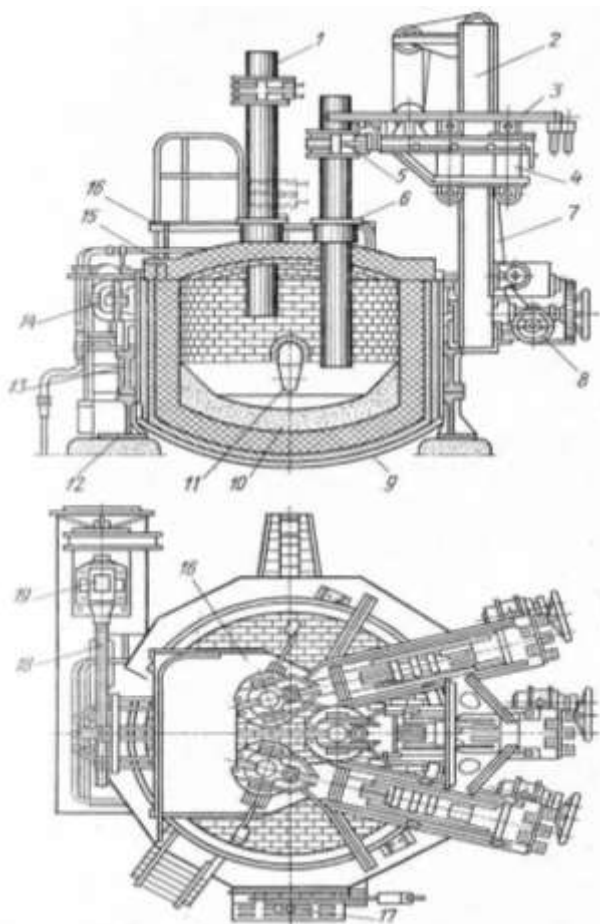


Рис. 1.13. Дуговая электрическая печь для черных металлов: 1 — электрод; 2 — колонны; 3 — проводники тока; 4 — каретки; 5 — электрододержатель; 6 — уплотняющее кольцо; 7 — тросы; 8 — механизм перемещения кареток; 9 — кожух печи; 10 — набивной под; 11 — летка; 12 — опорные рейки; 13 — секторы; 14 — гайки; 15 — свод; 16 — рабочая площадка; 17 — дверка; 18 — шпиндель; 19 — электродвигатель механизма наклона печи

*Кожух печи* может быть цилиндрической или конической формы, слегка расширяющийся кверху. Кожух сваривают из листовой стали толщиной 12—20 мм. Днище кожуха может быть плоским, коническим или сферическим. В кожухе вырезают отверстия для загрузочного окна и металлической летки. Кожух печи несет на себе

всю тяжесть футеровки и расплавляемого металла и испытывает термические напряжения, поэтому он должен быть очень прочным.

*Механизм наклона печи.* Для слива металла из печи ее необходимо наклонять в сторону сливного носка на 40—45°; для скачивания шлака — на 10—15° в сторону рабочего окна. Печь наклоняют с определенной скоростью механизмом, находящимся сбоку или под ней. Для наклона печи используется гидропривод.

*Футеровка печи.* Подина состоит из нескольких слоев. Слой, соприкасающийся с жидким металлом и шлаком, — набивной из огнеупорного порошка. Последующие слои — из шамота, диатомита и асбеста.

*Электроды.* Электрический ток подается внутрь рабочего пространства по угольным или графитированным электродам. Electroды имеют круглое сечение и длину 1000—1800 мм. В торцах электродов сделаны отверстия с резьбой. По мере обгорания нижней части электрода, находящегося в печи, его наращивают. Для этого в верхнюю часть работающего электрода ввинчивают с помощью соединительного ниппеля новый электрод.

*Механизм загрузки печи.* В печи емкостью до 3 т металл загружают вручную, при загрузке печей большей емкости применяют специальные загрузочные механизмы. Наиболее распространен метод загрузки сверху. При загрузке шихты свод печи вместе с электродами поднимают вверх и поворачивают на 80—100°. По окончании загрузки печи свод возвращают в исходное положение.

### *Задание*

Рассчитать дуговую печь для выплавки стали по данным табл. А3 (см. прил. А)

### *Ход решения*

1. Мощность трансформатора, кВт·А

$$P = \frac{W_{\text{теор}} \Pi}{\eta \cos \varphi},$$

где  $W_{\text{теор}}$  — удельный расход электроэнергии на расплавление, кВт·ч/т (см. табл. 1.3);  $\Pi$  — производительность печи, т/ч;  $\eta$  — КПД печи, равный 0,5—0,7;  $\cos \varphi$  — коэффициент мощности печной установки, равный 0,8—0,9.

2. Вторичное напряжение выбирают с учетом мощности трансформатора, габаритных размеров печи, ее емкости и т.д. Для печей небольшой емкости вторичное напряжение 225—300 В, для печей средней емкости — 300—400 В, для печей большой емкости — до 600 В.

3. Сила тока в электроде печи при вторичном напряжении, А

$$I_{2л} = 10^3 \frac{P}{\sqrt{3}U_{2л}},$$

где  $U_{2л}$  – линейное напряжение, В.

4. Диаметр электрода при допустимой плотности тока в электроде, м

$$d_{эл} = \sqrt{\frac{4I_{2л}}{\pi j}},$$

где  $j$  – допустимая плотность тока в электроде, А/м<sup>2</sup>,  
 $j = (15-25) \cdot 10^4$ .

5. Полная высота ванны печи (угол наклона 45°) до порога рабочего окна, м

$$H = AG^{0,25},$$

где  $A$  – коэффициент для основных печей, равный 0,31–0,345;  
 $G$  – масса стали в печи, т.

6. Диаметр ванны на уровне порога рабочего окна, м

$$d_1 = 0,89H + \sqrt{\frac{2G}{\rho H} - \frac{H^2}{4}},$$

где  $\rho$  – плотность жидкого металла, т/м<sup>3</sup> (см. табл. 1.3).

7. Диаметр плавильного пространства на уровне верхнего края откоса, м

$$D_1 = d_1 + 2\Delta H,$$

где  $\Delta H = (0,14-0,15)H$  для печей емкостью до 20 т и  $(0,12-0,13)H$  для печей большей емкости.

8. Высота плавильного пространства печи, м

$$H_1 = (0,5 - 0,6)D_1.$$

9. Толщина футеровки пода, м

$$s = 0,4\sqrt[6]{G}.$$

10. Диаметр кожуха печи при толщине огнеупорного слоя стены, м

$$D_{\text{кож}} = D_1 + 2(s_0 + s_{\text{т}}),$$

где  $s_0$  – толщина огнеупорного слоя стен, м ( $s_0 = 0,23$  м для печей емкостью 0,5–1,5 т;  $s_0 = 0,3$  м для 3–10 т;  $s_0 = (0,35-0,4)$  м для 15,0–40 т);  $s_{\text{т}}$  – толщина теплоизоляционного слоя стен, м ( $s_{\text{т}} = 0,1$  м для печей емкостью 0,5–1,5 т;  $s_{\text{т}} = (0,1-0,15)$  м для 3 – 10 т;  $s_{\text{т}} = (0,15-0,2)$  м для 15–40 т).

### *Контрольные вопросы*

1. Каков принцип работы дуговой плавильной печи?

2. Перечислите виды дуговых печей и опишите их.
3. От чего зависит электрический режим работы дуговой печи?
4. Опишите основные узлы дуговой плавильной печи.
5. Каковы основные требования безопасности при обслуживании индукционных печей?

## 2. БЕЗОПАСНОСТЬ СБОРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В структуре технологических процессов производства изделий машиностроения сборке принадлежит особое место. Сборка является заключительным этапом в производственном процессе, органически связанным со всеми предшествующими процессами. Технологические операции сборки являются многовариантными и могут иметь различное содержание и последовательность операций, различный состав оборудования, инструментов и приспособлений.

Основными физическими травмоопасными факторами при механосборочных работах являются:

- подвижные элементы оборудования, подъемно-транспортные устройства, транспортные средства, конвейеры, поворотные столы, промышленные роботы и манипуляторы, перемещаемые грузы, пневмо- и электроинструменты, рабочие инструменты ручных машин, особенно быстро вращающиеся сверла, абразивные круги, способные нанести травму при случайном соприкосновении с ними в процессе работы и в случае захвата одежды, а также внезапного их разрушения (например, разрыв шлифовального или заточного круга);

- подвижные приспособления для закрепления обрабатываемой детали, представляющие опасность при случайном к ним прикосновении и в случае захвата одежды выступающими частями;

- заготовки и детали при их установке на верстак и при снятии с верстака, стола, станка или стенда вручную без соответствующих приспособлений;

- металлическая ленточная стружка, образующаяся при сверлении вязких материалов, например, сталей (стружка может сворачиваться в петли, запутываться вокруг инструмента, детали или органов управления и создавать опасность ранения рук и лица работающего);

- отлетающая стружка, образующаяся при обработке хрупких металлов, а также крупные пылевые частицы, мелкие осколки металлов и других материалов (могут привести к травме глаз);

- острые кромки ручного слесарного инструмента и деталей, заусенцы (могут привести к травме рук);

- нагретые или сильно охлажденные детали при запрессовке, а

также средства нагрева – масло – и охлаждения – сухой лед, жидкий азот (могут вызвать ожоги рук, лица).

В механосборочных цехах существует опасность поражения работающих электрическим током ввиду наличия оборудования, использующего электрический ток высокой и промышленной частот напряжением до 380 В (например, электроинструмент, установки индукционного нагрева деталей под запрессовку, электродвигатели, тоководящие шины, рубильники, светильники, вентиляторы, и др.).

Неправильное обращение с обезжиривающими органическими растворителями (бензином, керосином) и ароматическими углеводородами (бензолом, толуолом, ксилолом), синтетическими моющими средствами и поверхностно-активными веществами для очистки деталей, хромосодержащими притирочными и полировальными пастами, свинцовыми припоями, различными клеями создает опасность острых отравлений.

К основным вредным производственным факторам при выполнении сборочных работ относятся: шум и вибрация, создаваемые ручным механизированным инструментом, клепальными машинами, испытательными стендами, пневматическими устройствами, вибробункерами сборочных машин и т.д., ультразвук, различного вида пыль и др.

Источниками шума при сборке являются пневматические и электрические ручные инструменты, молоты, прессы, станки, бункеры, вентиляторы и другие установки. Работа пневматическими клепальными молотками может сопровождаться высокочастотным шумом с уровнем 110-125 дБ, а в замкнутых пространствах – до 135 дБ. Шум, генерируемый прессовым оборудованием, имеет средний уровень звуковой мощности 98-126 дБ и уровень звукового давления в импульсе до 110-129 дБ.

Эксплуатация камер дробеструйной очистки деталей приводит к возникновению средне- и высокочастотного шумов с уровнем звукового давления 84-92 дБ.

Воздействие шума на организм человека приводит к быстрой утомляемости, снижению производительности труда и качества изделий, оказывает вредное влияние на органы слуха (вызывает тугоухость), на центральную нервную систему. Длительное воздействие шума может приводить к гипертонической и другим заболеваниям.

При использовании ручного механизированного инструмента ударного, ударно-поворотного, ударно-вращательного действия в случае продолжительного воздействия локальной вибрации появляется

опасность возникновения вибрационной болезни. Значительную роль в развитии этой болезни играют сопутствующие факторы, такие, как охлаждение, шум, значительное статическое напряжение мышц плечевого пояса, вынужденное неудобное положение тела.

При промывке и обезжиривании деталей, сварке и пайке используется низкочастотный ультразвук (16-44 кГц) высокой интенсивности (до 6-7 Вт/см<sup>2</sup>), ультразвук (более 80 кГц). Наиболее опасен контактный ультразвук при передаче через жидкости или твердые материалы. Даже кратковременное и периодическое воздействие контактного ультразвука может приводить к нарушению подвижности пальцев, кистей, предплечий.

## 2.1. РАСЧЕТ ЗАКЛЕПОЧНОГО СОЕДИНЕНИЯ

Заклепочные соединения наряду со сварными и клеевыми относятся к классу неразъемных соединений, т.е. их невозможно разобрать без разрушения или повреждения деталей.

*Заклепочный шов* образуют заклепки и склепываемые детали, выполненные в большинстве случаев из листового материала или профилей проката (рис. 2.1).

Отверстия под заклепки в деталях выполняются продавливанием или сверлением. Однако при продавливании образуются мелкие трещины по периферии отверстий, которые могут быть причиной разрушения заклепочного шва во время работы. Поэтому продавленные отверстия применяют только в малоответственных конструкциях. Сверленные отверстия применяют в конструкциях, где требуется высокая надежность. При больших диаметрах отверстий используют продавливание с последующим рассверливанием.

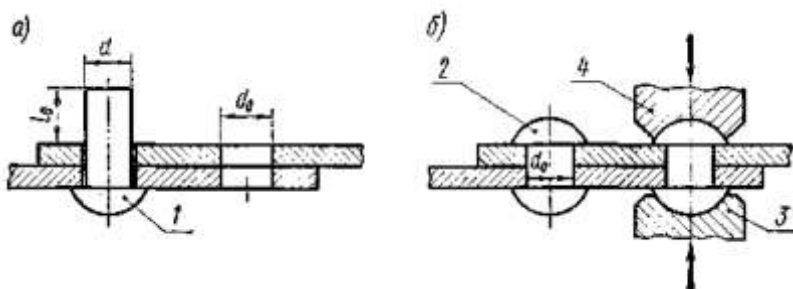


Рис. 2.1. Образование заклепочного шва: а – закладка заклепки; б – клепка  
(1 – закладная головка; 2 – замыкающая головка; 3 – поддержка; 4 – обжимка)

Клепку производят на клепальных машинах (прессах) или вручную (пневматическими молотками). Сначала происходит осадка



стержня, зазор между заклепкой и отверстием заполняется, после чего образуется замыкающая головка (см. рис. 2.1, б).

Стальные заклепки диаметром до 12 мм можно ставить холодным способом, то же относится к заклепкам из цветных металлов и сплавов. При горячем способе стальные заклепки нагревают до светло-красного каления. Этот способ обеспечивает более высокое качество заклепочного шва, так как заклепки укорачиваются при остывании и стягивают детали, создавая на стыке их поверхностей большие силы трения, препятствующие относительному сдвигу деталей при действии нагрузки.

К достоинствам заклепочных соединений относятся:

- высокая надежность соединения;
- удобство и надежность контроля качества шва;
- хорошая сопротивляемость вибрационным и ударным нагрузкам.

К недостаткам можно отнести:

- высокую стоимость, так как процесс получения заклепочного шва состоит из большого числа операций и требует применения дорогостоящего оборудования;
- большой расход материала за счет необходимости увеличения площади сечений, применения накладок и прочих дополнительных элементов.

В настоящее время заклепочные соединения применяют:

- в конструкциях, воспринимающих значительные вибрационные и ударные нагрузки при высоких требованиях к надежности соединения;
- при изготовлении конструкций из несвариваемых материалов (дюралюминий, текстолит и др.);
- в соединениях окончательно обработанных деталей, в которых применение сварки недопустимо из-за их коробления при нагреве.

В современном машиностроении область применения заклепочных соединений все более сокращается по мере совершенствования методов сварки.

### *Классификация заклепок*

Форма головки выбирается в зависимости от назначения заклепочного шва и определяет тип заклепки. Наибольшее применение имеют заклепки с *полукруглыми* головками (рис. 2.2, а).

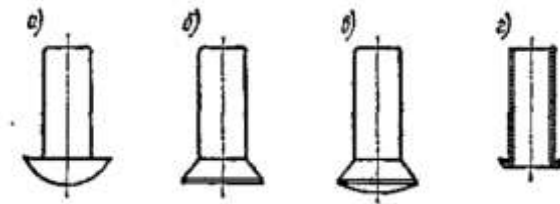


Рис. 2.2. Основные типы заклепок: *а* – с полукруглой головкой; *б* – с потайной головкой; *в* – с полупотайной головкой; *г* – трубчатая

Заклепки с *потайными головками* (см. рис. 2.2, *б*) применяют тогда, когда конструктивно недопустимы выступы головок.

*Трубчатые* заклепки (см. рис. 2.2, *г*) применяют в слабонагруженных металлических соединениях, а также в соединениях неметаллических материалов (фибра, текстолит и др.). Замыкающая головка трубчатой заклепки получается развальцовкой свободного конца.

Все заклепки стандартизованы.

#### *Классификация заклепочных швов*

В зависимости от назначения заклепочные швы бывают:

- *прочные*, обеспечивающие основной критерий работоспособности – прочность. Применяются в металлоконструкциях (фермы, рамы и др.);

- *плотные*, обеспечивающие прочность и герметичность. Применяются в различных резервуарах. В настоящее время плотные заклепочные швы заменяют сварными соединениями.

В зависимости от взаимного расположения склепываемых деталей различают заклепочные швы *внахлестку* (рис. 2.3) и *встык*, с *одной* (рис. 2.4) или с *двумя* (рис. 2.5) накладками.

В зависимости от числа рядов заклепок швы бывают *однорядные* (см. рис. 2.3) и *многорядные* (см. рис. 2.4, 2.5).

Для швов *встык* число рядов учитывается по одну сторону стыка.

В зависимости от расположения заклепок в рядах различают швы *параллельные* (см. рис. 2.4) и *шахматные* (см. рис. 2.5).

В зависимости от числа плоскостей среза одной заклепки швы делят на *односрезные* (см. рис. 2.3 и 2.4) и *двухсрезные* (см. рис. 2.5).

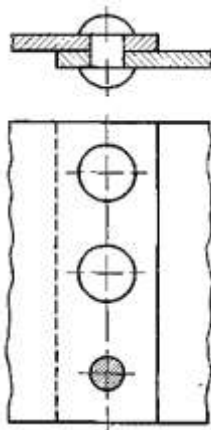


Рис. 2.3. Однорядный односрезный заклепочный шов внахлестку

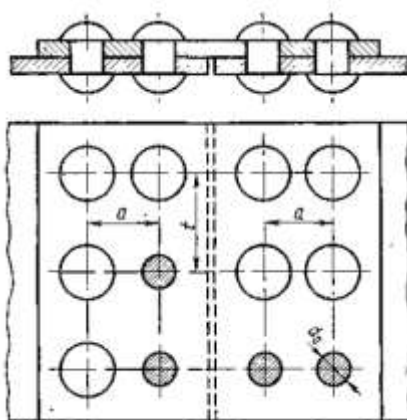


Рис. 2.4. Двурядный односрезный параллельный заклепочный шов с одной накладкой

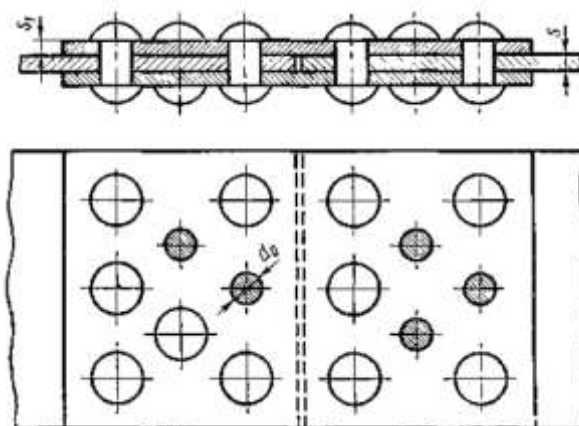


Рис. 2.5. Многорядный двухсрезный шахматный заклепочный шов с двумя накладками

### *Требования к материалам*

Основными материалами склепываемых деталей являются малоуглеродистые стали Ст. О, Ст. 2, Ст. 3, цветные металлы и их сплавы.

К материалу заклепки предъявляются следующие требования:

- Высокая пластичность для облегчения процесса клепки.

– Одинаковый коэффициент температурного расширения с материалом деталей во избежание дополнительных температурных напряжений в соединении при колебаниях температур.

– Однородность с материалом склепываемых деталей для предотвращения появления гальванических токов, сильно разрушающих соединения. Для стальных деталей применяются только стальные заклепки, для дюралюминиевых — алюминиевые, для медных — медные.

Заклепки изготовляют на высочных автоматах из прутков малоуглеродистых сталей Ст.2, Ст.3, Юкп, 20кп, из сплавов цветных металлов Л62, М3, АД1 и др.

### Задание

Спроектировать двухрядное заклепочное соединение внахлестку, нагруженное силой  $F$  (рис. 2.6). Толщина соединяемых полос  $\delta$ . Исходные данные для расчета представлены в табл. Б1 (прил. Б).

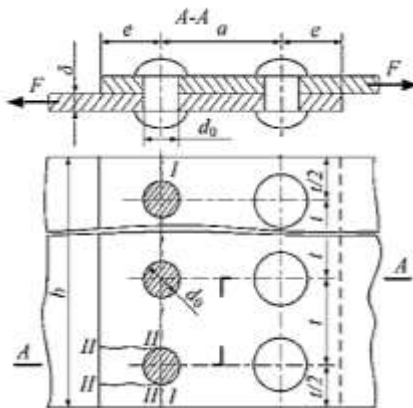


Рис. 2.6. Эскиз двухрядного заклепочного соединения

### Ход решения

1. Необходимая площадь сечения соединяемых листов, ослабленных отверстиями под заклепки,  $m^2$

$$A \geq \frac{F}{\phi_{\min} \cdot [\sigma]_p},$$

где  $\phi_{\min}$  — минимальный коэффициент прочности клепаного соединения (для двухрядного шва внахлестку  $\phi_{\min} = 0,75$ );  $[\sigma]_p$  — допускаемое напряжение растяжения для материала соединяемых деталей, МПа (табл. 2.1).

**Таблица 2.1 – Допускаемые напряжения для стальных  
заклепочных швов при статической нагрузке**

Элемент шва	Вид деформации, напряжения	Способ изготовления отверстий	Допускаемые напряжения, МПа	
			Ст2	Ст3
Склепываемые детали	Растяжение $[\sigma]_p$	-	140	160
	Срез $[\tau]_{ср}$	-	90	100
Заклепки	Срез $[\tau]_{ср}$	Продавливание	100	100
		Сверление	140	140
Заклепки и склепываемые детали	Смятие $[\sigma]_{см}$	Продавливание	240	280
		Сверление	280	320

2. Минимальная ширина полосы, м

$$b = 10^{-3} \cdot \frac{A}{\delta}.$$

3. Диаметр отверстий под заклепки, мм

$$d_0 = 2\delta.$$

Далее необходимо подобрать стандартные заклепки со стержнем диаметром  $d \approx d_0$  (табл. 2.2), имея в виду, что для облегчения установки стержня заклепки в отверстие диаметр отверстия  $d_0$  должен быть больше номинального диаметра заклепки  $d$ .

**Таблица 2.2 – Диаметры заклепок и отверстий для их установки**

Диаметр заклепки $d$ , мм	Диаметр отверстия $d_0$ , мм	Диаметр заклепки $d$ , мм	Диаметр отверстия $d_0$ , мм
6	6,5	12	13
7	7,5	16	17
8	8,5	20	21
10	10,5	22	23

4. Шаг заклепочного шва (с учетом необходимости размещения по ширине полосы целого числа шагов), мм

$$t = (4 - 6)d_0.$$

5. Расстояние от края полосы до оси заклепок, мм при сверленных отверстиях

$$e = 1,65d_0;$$

при продавленных отверстиях

$$e = 2d_0.$$

6. Расстояние между рядами заклепок, мм

$$a \geq 0,6t.$$

7. Из условий расчета на срез и смятие находят необходимое количество заклепок  $z$ . Следует понимать, что расчет на срез обеспечивает прочность заклепок, но не гарантирует надежность соединения в целом. Если толщина соединяемых полос мала, то давление, возникающее между стенками их отверстий и заклепками, может получиться недопустимо большим. В результате стенки отверстий или боковые поверхности заклепок сминаются, и соединение становится ненадежным.

Исходя из условия прочности заклепок на срез, их количество должно составлять

$$z \geq \frac{4000F}{\pi d_0^2 i [\tau]_{\text{ср}}'}$$

где  $i$  – число плоскостей среза одной заклепки (из условия задачи  $i = 1$ );  $[\tau]_{\text{ср}}'$  – допускаемое напряжения на срез для материала заклепок (см. табл. 2.1), МПа.

Из условия прочности на смятие поверхностей заклепок и стенок отверстий число заклепок составляет

$$z \geq \frac{10^3 F}{\delta d_0 [\sigma]_{\text{см}}'}$$

где  $\delta$  – меньшая из толщин соединяемых деталей, мм;  $[\sigma]_{\text{см}}'$  – допускаемое напряжения смятия для менее прочного материала: полосы или заклепки (см. табл. 2.1), МПа.

По большей величине  $z$  окончательно принимают число заклепок в соединении.

8. Ширина полосы в зависимости от числа заклепок в каждом ряду, мм

$$b = nt,$$

где  $n$  – число заклепок в каждом ряду, для двухрядного шва  $n = z/2$ .

9. Условие прочности на растяжение

$$\sigma_p = \frac{10^3 F}{\delta(t - d_0)n} \leq [\sigma]_p,$$

где  $\sigma_p$  – расчетное напряжение в сечении I – I, ослабленном отверстиями в одном ряду (см. рис. 2.6), МПа;  $[\sigma]_p$  – допускаемое напряжение склепываемых деталей на растяжение (см. табл. 2.1), МПа.

10. Условие прочности на срез

На срез заклепками проверяют края полосы в сечении II – II (см.

рис. 2.6)

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{10^3 F}{2\delta \left( e - \frac{d_0}{2} \right) z} \leq [\tau]_{\text{ср}},$$

где  $\tau_{\text{ср}}$  – расчетное напряжение на срез, МПа;  $[\tau]_{\text{ср}}$  – допускаемое напряжение на срез (см. табл. 2.1), МПа.

11. Действительное значение коэффициента прочности шва ( $\phi \geq \phi_{\min}$ )

$$\phi = \frac{t - d_0}{t}.$$

Если условие  $\phi \geq \phi_{\min}$  не выполняется, изменяют конструкцию соединения (например, шаг шва) и повторяют расчет.

#### *Контрольные вопросы*

1. Опишите механизм образования заклепочного шва. Перечислите основные виды заклепочных швов.
2. Охарактеризуйте основные методы изготовления отверстий под заклепки.
3. Перечислите основные типы заклепок. Укажите особенности их применения.
4. Перечислите основные достоинства и недостатки заклепочных соединений.
5. Какие основные требования предъявляются к материалу заклепки?

## 2.2. РАСЧЕТ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Резьбовые соединения являются наиболее распространенными разъемными соединениями. Их образуют болты, винты, гайки и другие металлы с резьбой. Основным элементом соединения является резьба, которая получается путем прорезания или накатки на детали канавок по винтовой линии. Винтовую линию образует гипотенуза прямоугольного треугольника при его наворачивании на прямой круговой цилиндр (рис. 2.7). Если плоскую фигуру (треугольник, трапецию и т. д.) перемещать по винтовой линии так, чтобы ее плоскость при движении всегда проходила через ось цилиндра, то эта фигура образует виток резьбы соответствующего профиля (рис. 2.8).

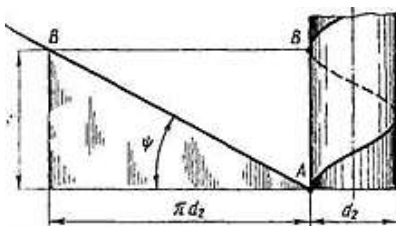


Рис. 2.7. Образование винтовой линии

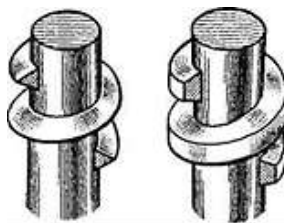


Рис. 2.8. Образование резьбы

### Классификация резьб

В зависимости от формы поверхности детали, на которой нарезается резьба, различают *цилиндрические* и *конические* резьбы (рис. 2.9).

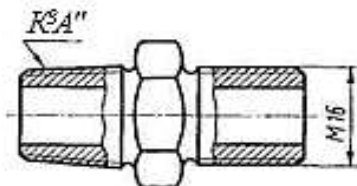


Рис. 2.9. Пример конической (слева) и цилиндрической (справа) резьбы

В зависимости от формы профиля различают следующие основные типы резьб: *треугольные* (рис. 2.10, а), *упорные* (рис. 2.10, б), *трапецидальные* (рис. 2.10, в), *прямоугольные* (рис. 2.10, г), *круглые* (рис. 2.10, д).

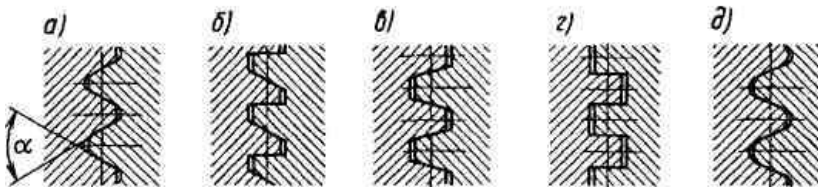


Рис. 2.10. Профили резьб: а – треугольная; б – упорная; в – трапецидальная; г – прямоугольная; д – круглая

В зависимости от направления винтовой линии резьбы бывают *правые* (рис. 2.11, а) и *левые* (см. рис. 2.11, б). У правой резьбы винтовая линия поднимается слева направо, у левой — справа налево. Левая резьба имеет ограниченное применение.



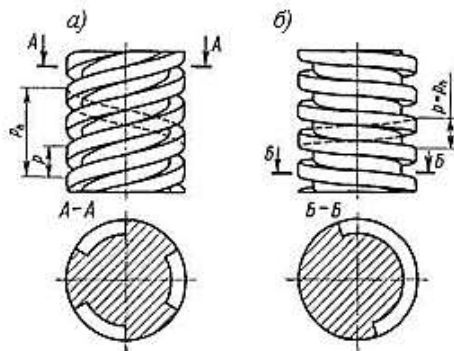


Рис. 2.11. Винты с правой трехзаходной (а) и левой однозаходной (б) резьбой

В зависимости от числа заходов резьбы делят на *однозаходные* (см. рис. 2.11, б) и *многозаходные* (см. рис. 2.11, а). Многозаходные резьбы получают при перемещении профилей по нескольким винтовым линиям. Заходность резьбы можно определить с торца винта по числу сбегающих витков.

В зависимости от назначения резьбы делят на *крепежные*, *крепежно-уплотняющие* и для *преобразования движения*. *Крепежные* резьбы применяют в соединениях для скрепления деталей. Они имеют треугольный профиль, отличающийся повышенным моментом сопротивления отвинчиванию и высокой прочностью. *Крепежно-уплотняющие* резьбы применяют для скрепления деталей в соединениях, требующих герметичности. Их также выполняют треугольного профиля, но без зазоров в сопряжении болта и гайки. Как правило, все крепежные резьбовые детали имеют однозаходную резьбу. *Резьбы для преобразования движения* (вращательного в поступательное или наоборот) применяют в винтовых механизмах (в ходовых и грузовых винтах). Они имеют трапецидальный (реже прямоугольный) профиль, который характеризуется малым моментом сопротивления вращению.

### Характеристики основных типов резьб

*Метрическая резьба* (рис. 2.12) — наиболее распространенная из крепежных резьб. Имеет профиль в виде равностороннего треугольника:  $\alpha = 60^\circ$ ,  $\gamma = 30^\circ$ . Вершины витков и впадин притупляются по прямой или дуге, что предохраняет резьбу от повреждений, уменьшает концентрацию напряжений, удовлетворяет нормам техники безопасности. Радиальный и осевой зазоры в резьбе

делают ее негерметичной. В соединениях, требующих герметичности, резьбу выполняют без зазора. Метрическую резьбу изготавливают по стандарту с крупным и мелким шагом (ГОСТ 9150-2002). Наклон боковой стороны профиля обеспечивает возможность создания больших осевых сил, а также возможность самоторможения.

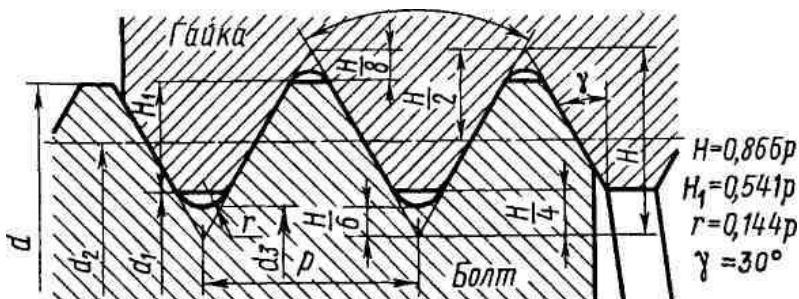


Рис. 2.12. Геометрические параметры метрической резьбы:  $d$  — номинальный диаметр резьбы (наружный диаметр винта);  $d_3$  — внутренний диаметр резьбы винта по дну впадины;  $d_2$  — средний диаметр резьбы, т. е. диаметр воображаемого цилиндра, на котором толщина витка равна ширине впадины;  $p$  — шаг резьбы, т. е. расстояние между одноименными сторонами соседних профилей, измеренное параллельно оси резьбы;  $p_h$  — ход резьбы, т. е. расстояние между одноименными сторонами одного и того же витка в осевом направлении (см. рис. 2.8);  $\alpha$  — угол профиля резьбы;  $\gamma$  — угол наклона боковой стороны профиля резьбы;  $\Psi$  — угол подъема резьбы (см. рис. 2.7), т. е. угол, образованный разверткой винтовой линии по среднему диаметру резьбы и плоскостью, перпендикулярной оси винта

В качестве основной крепежной применяют резьбу с крупным шагом, так как она прочнее, менее чувствительна к изнашиванию и неточностям изготовления. Мелкие резьбы применяют в резьбовых соединениях, подверженных действию переменных нагрузок (крепление колеса автомобиля и др.), а также в тонкостенных и мелких деталях, регулировочных устройствах (точная механика, приборы).

*Дюймовая резьба* имеет профиль в виде равнобедренного треугольника с углом при вершине  $\alpha = 55^\circ$ . Вместо шага задают число витков на дюйм (1 дюйм = 25,4 мм).

*Трубная резьба* (рис. 2.13). Профиль — равнобедренный треугольник. Резьба имеет закругленные выступы и впадины. Отсутствие радиальных и осевых зазоров делает резьбовое соединение герметичным. Она является крепежно-уплотняющей. Применяют для соединения труб. Изготавливают по стандарту. Еще более высокую плотность соединения дает трубная коническая резьба.

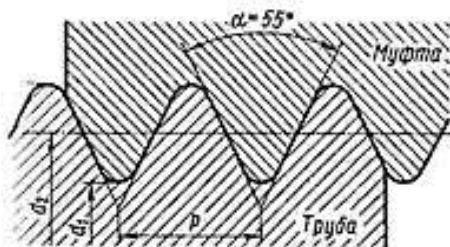


Рис. 2.13. Резьба трубная

*Трапецидальная резьба* (рис. 2.14). Это основная резьба в передаче винт—гайка. Ее профиль — равнобочная трапеция, угол профиля  $\alpha = 30^\circ$ , угол наклона боковой стороны профиля  $\gamma = 15^\circ$ . Шаг может быть крупным, средним и мелким. Характеризуется малыми потерями на трение, технологичностью. КПД выше, чем у резьб с треугольным профилем. Применяют для передачи реверсивного движения под нагрузкой (ходовые винты станков, прессов, домкратов и т. п.).

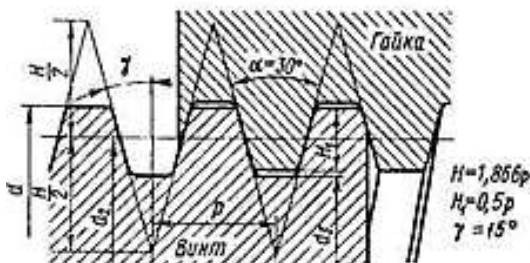


Рис. 2.14. Резьба трапецидальная

*Упорная резьба* (рис. 2.15). Профиль — неравнобочная трапеция. Рабочая сторона профиля имеет угол наклона  $\gamma = 3^\circ$ , что обеспечивает возможность изготовления резьбы фрезерованием. КПД выше, чем у трапецидальной резьбы. Закругление впадин повышает сопротивление усталости винта. Применяют в передаче винт — гайка при больших односторонних осевых нагрузках (грузовые винты прессов, домкратов, толкателей). Изготавливают по стандарту, шаг может быть крупным, средним и мелким.

*Прямоугольная резьба* (рис. 2.16). Профиль резьбы — квадрат,  $\gamma = 0^\circ$ . Обеспечивает наивысший КПД, но неудобна в изготовлении (невозможно нарезать объемным инструментом — фрезой). Впадины

без закруглений понижают сопротивление усталости винта. При изнашивании появляются осевые зазоры, которые трудно устранить. Не стандартизована. Применяют ограниченно в малонагруженных передачах винт — гайка.

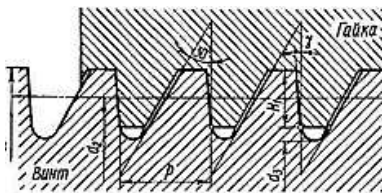


Рис. 2.15. Упорная резьба

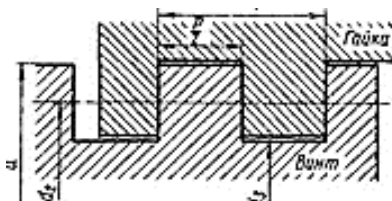


Рис. 2.16. Резьба прямоугольная

*Круглая резьба* (см. рис. 2.10, д). Профиль резьбы состоит из дуг, сопряженных короткими отрезками прямых линий. Угол профиля  $\alpha = 30^\circ$ . Винты с круглой резьбой характеризуются высоким сопротивлением усталости. Изготавливают по стандарту. Применяют ограниченно при тяжелых условиях эксплуатации в загрязненной среде, а также при частых завинчиваниях и отвинчиваниях. Технологична при изготовлении отливкой, накаткой и выдавливанием на тонкостенных изделиях.

*Конические резьбы* (см. рис. 2.9) обеспечивают непроницаемость без специальных уплотнений, позволяют затяжкой компенсировать износ, обеспечивают более равномерное распределение нагрузки по виткам. Стандартизованы резьбы с конусностью 1:16 (угол наклона образующей конуса к оси резьбы —  $10^\circ 17' 24''$ ). Применяют для соединения труб, установки пробок, штуцеров и т. п.

К преимуществам резьбовых соединений относятся:

- высокая надежность;
- удобство сборки и разборки;
- возможность создания больших осевых нагрузок;
- относительно небольшая стоимость, обусловленная стандартизацией и массовым производством крепежных резьбовых

деталей.

Среди недостатков данного вида соединений можно выделить:

- формирование концентрации напряжений во впадинах резьбы, снижающей усталостную прочность соединения;
- необходимость применения во многих случаях средств стопорения (для предотвращения самоотвинчивания резьбы).

### Задание

Крышка подшипникового узла редуктора крепится к корпусу винтами (рис. 2.17). Со стороны вала через подшипник на крышку действует осевая сила  $F_a$ . Определить требуемый диаметр винтов при условии, что колебания осевой нагрузки незначительны, а затяжку производят динамометрическим ключом до приложения осевой силы к крышке. Материал крышки и корпуса – чугунное литье. Прокладки между крышкой и корпусом жесткие.

Исходные данные для расчета представлены в табл. Б2 (см. прил. Б).

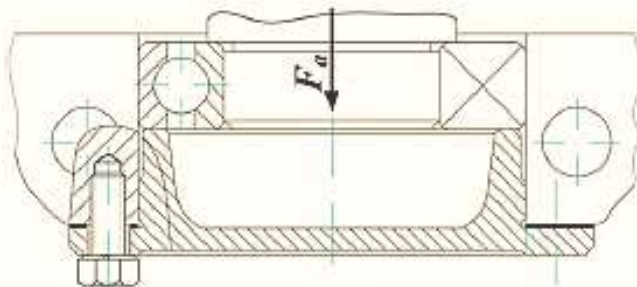


Рис. 2.17. Эскиз к расчету винтового соединения крышки с корпусом редуктора

### Ход решения

1. Нагрузка, приходящаяся на один винт, Н

$$F = \frac{F_a}{z},$$

где  $F_a$  – действующая на крышку осевая сила, Н;  $Z$  – число винтов.

2. Допускаемое напряжение растяжения, МПа

$$[\sigma]_p = \frac{\sigma_p}{[s]_r},$$

где  $\sigma_p$  – предел текучести материала винта (табл.а 2.3), МПа;  $[s]_r$

– коэффициент запаса прочности; для углеродистых сталей  $[\sigma]_T = (1,7 - 2,2)$ ; для легированных сталей –  $[\sigma]_T = (2 - 3)$ .

**Таблица 2.3 – Механические свойства болтов, винтов и шпилек из углеродистых и легированных сталей**

Класс прочности	$\sigma_s$ , МПа	$\sigma_t$ , МПа	Марка стали
3.6	340	200	Ст3кп; Ст3сп; 10
	300		10кп
4.6	400	240	20
4.8		320	10; 10кп
5.6	500	300	30; 35
5.8		400	10; 10кп; 20; 20кп; Ст3сп; Ст3кп
6.6	600	360	35; 45; 40Г
6.8		480	20; 20кп
8.8	800	640	35; 35Х; 38ХА; 45Г
10.9	1000	900	40Г2; 40Х; 30ХГСА; 16ХСН

3. Сила затяжки винтов  $F_0$  при установке крышек, обеспечивающая нераскрытие стыка, Н

$$F_0 = K_{\text{зат}} (1 - \chi) F,$$

где  $K_{\text{зат}}$  – коэффициент запаса предварительной затяжки (при постоянной нагрузке принимают  $K_{\text{зат}} = 1,25 - 2$ );  $\chi$  – коэффициент основной (внешней) нагрузки (для соединений стальных и чугунных деталей без упругих прокладок принимают  $\chi = 0,2$ ).

4. Расчетная сила  $F_{\text{расч}}$ , Н

При затягивании стержень винта испытывает растяжение и скручивание моментом сил сопротивления трению в резьбе, который после снятия ключа продолжает скручивать стержень винта. Расчет винтов, работающих на совместное действие растяжения и кручения, ведут только на растяжение по увеличенной в 1,3 раза силе. Поэтому с учетом скручивания винта при затяжке

$$F_{\text{расч}} = 1,3F_0 + \chi F.$$

5. Из условия прочности на растяжение по эквивалентному напряжению  $\sigma_{\text{экв}}$ , учитывающему действие растяжения и кручения, определяют значение расчетного диаметра  $d_p$  резьбы винта

$$\sigma_{\text{экв}} = \frac{4F_{\text{расч}}}{\pi d_p^2} \leq [\sigma]_p.$$

В инженерных расчетах принимают  $d_p \approx d_1$ , где  $d_1$  – внутренний диаметр метрической резьбы по ГОСТ 24705-2004. Тогда

$$d_1 \geq \sqrt{\frac{4F_{\text{расч}}}{\pi[\sigma]_p}}.$$

6. Далее по рассчитанному значению  $d_1$  из таблицы метрических резьб (табл. 2.4) находят винт с ближайшим большим стандартным диаметром  $d_1$  и приводят его условное обозначение.

**Таблица 2.4 - Значения наружного диаметра, шага и внутреннего диаметра для метрической резьбы ГОСТ 24705–2004**

Наружный диаметр резьбы $d$ , мм	Шаг резьбы $p$ , мм	Внутренний диаметр резьбы $d_1$ , мм	Наружный диаметр резьбы $d$ , мм	Шаг резьбы $p$ , мм	Внутренний диаметр резьбы $d_1$ , мм
5	0,8*	4,134	10	1,5*	8,376
	0,5	4,459		1,25	8,647
6	1*	4,917	12	1	8,917
	0,75	5,188		1,75*	10,106
	0,5	5,459		1,5	10,376
8	1,25*	6,647	14	2*	11,835
	1	6,917		1,5	12,376
	0,75	7,188	16	2*	13,835
	0,5	7,459		1,5	14,376

*Примечания:* 1. Знаком «\*» отмечены резьбы с крупным шагом. 2. Винты M14 применять не рекомендуется

7. Глубину завинчивания винта в чугунный корпус принять равной  $2d$ , где  $d$  – номинальный диаметр резьбы (наружный диаметр винта).

### *Контрольные вопросы*

1. Опишите механизм образования резьбы.
2. Перечислите основные виды резьб.
3. Укажите основные достоинства и недостатки резьбовых соединений.
4. Какая резьба называется метрической? Укажите ее основные характеристики.
5. Укажите области применения резьб с крупным и мелким шагом.

## **2.3 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЛОКАЛЬНОЙ ВИБРАЦИИ**

Вибрация – это механические колебания, передаваемые по жидким или твердым средам. Вибрация представляет собой кинетическую энергию, передаваемую машине или человеку. Причиной её возникновения являются неуравновешенные силовые воздействия, источниками которых служат:

- возвратно-поступательные движущиеся системы (кривошипно-шатунные механизмы, вибротрамбовки и др.);
- Неуравновешенные вращающиеся массы (ручные электрические шлифовальные машины).

В отдельных случаях вибрации могут создаваться также ударами деталей (зубчатые зацепления, подшипниковые узлы).

Неуравновешенные силы появляются в результате дисбаланса, причиной которого может быть неоднородность материала вращающегося тела, несовпадение центра массы тела и оси вращения и др.

В соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.566–96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий» вибрация, воздействующая на человека, классифицируется следующим образом.

По источнику возникновения:

- от *внешних* источников (городского рельсового транспорта и автотранспорта; промышленных предприятий и передвижных промышленных установок);
- от *внутренних* источников (инженерно-технологического оборудования зданий и приборов и др.);
- *общая* на производстве (транспортная, транспортно-технологическая, технологическая).

По способу передачи:

- *общая* вибрация, передающаяся через опорные поверхности на тело сидящего или стоящего человека;
- *локальная* вибрация, передающаяся через руки человека, на ноги сидящего человека и на предплечья, контактирующие с вибрирующими поверхностями рабочих столов.

По характеру спектра:

- *узкополосная*, у которой контролируемые параметры в одной третьоктавной полосе частот более, чем на 15 дБ превышают значения в соседних третьоктавных полосах;
- *широкополосная* – с непрерывным спектром более одной октавы.

По направлению действия: в соответствии с направлением осей ортогональной системы координат ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ).

По частотному составу:

- *низкочастотная* (1-4 Гц для общих вибраций, 8-16 Гц для локальных вибраций);
- *среднечастотная* (8-16 Гц для общих вибраций, 31,5-63 Гц для локальных вибраций);



- *высокочастотная* (31,5-63 Гц для общих вибраций, 125-1000 Гц для локальных вибраций).

По временным характеристикам:

- *постоянная* вибрация, для которой величина нормируемых параметров изменяется не более чем на 6 дБ за время наблюдения.

- *непостоянная* – величина нормируемых параметров изменяется не менее, чем на 6 дБ за время наблюдения не менее 10 минут в том числе: *колеблющиеся во времени* вибрации, *прерывистые* вибрации, *импульсные* вибрации.

Нормирование производственной вибрации производится на основании СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий».

Гигиеническая оценка постоянной и непостоянной вибрации может осуществляться тремя методами:

- частотным (спектральным) анализом нормируемого параметра (нормируемые параметры: средние квадратические значения виброскорости и виброускорения или их логарифмические уровни, измеряемые в октавных или 1/3 октавных полосах частот);

- интегральной оценкой по частоте нормируемого параметра (нормируемые параметры: скорректированное значение виброскорости или виброускорения или их логарифмические уровни);

- интегральной оценкой с учетом времени вибрационного воздействия по эквивалентному (по энергии) уровню нормируемого параметра (нормируемый параметр: эквивалентное скорректированное значение виброскорости или виброускорения или их логарифмические уровни).

Локальная вибрация нормируется в октавных полосах со среднегеометрическими частотами: 8; 16; 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000 Гц; общая вибрация – в октавных или 1/3 октавных полосах со среднегеометрическими частотами: 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,5; 16,0; 20,0; 25,0; 31,5; 40,0; 50,0; 63,0; 80,0 Гц.

Технические методы и средства борьбы с вибрацией главным образом направлены на изменение ее интенсивности, воздействующей на человека. При этом критерием эффективности служит степень достижения нормативов вибрации, установленных для рабочих мест.

По организационному признаку методы виброзащиты подразделяются на коллективную и индивидуальную виброзащиту.

По отношению к источнику возбуждения вибрации методы коллективной защиты подразделяются на методы, снижающие параметры вибрации:

- воздействием на источник возбуждения;

- на путях ее распространения от источника возбуждения.

По виду реализации методы, снижающие передачу вибрации при контакте оператора с вибрирующим объектом, предусматривают:

- использование дополнительных устройств, встраиваемых в конструкцию машины и в строительные конструкции (виброизоляция, динамическое виброгашение);
- изменение конструктивных элементов машин и строительных конструкций;
- использование демпфирующих покрытий;
- антифазную синхронизацию двух или нескольких источников возбуждения вибрации.

### *Задание*

Даны значения виброскорости в октавных полосах частот, измеренные на рукоятки пневматического молотка. Определить уровни скорости вибрации в децибелах для каждой октавной полосы. Сравнить полученные значения с нормативными. Вычислить эффективность вибродемпфирующего покрытия. Исходные данные представлены в таб. БЗ (см. прил. Б).

### *Ход решения*

1. Уровень виброскорости для каждой октавной полосы  $N_v$ , дБ

$$N_v = 20 \lg \frac{v}{v_0},$$

где  $v_0$  – нулевой порог,  $v_0 = 5 \cdot 10^{-8} \text{ мс}^{-1}$ .

2. По табл. 2.5 определить превышения уровней виброскорости над нормативными значениями.

**Таблица 2.5 – Допустимые уровни колебательной скорости**

Нормируемый параметр	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	16	32	63	125	250	500	1000	2000
Уровни виброскорости	120	117	114	111	108	105	102	99

3. Снижение уровня виброскорости на рукоятке пневмомолотка при покрытии ее вибродемпфирующим материалом  $\Delta N$ , дБ

$$\Delta N = 20 \lg \frac{\eta_{\Sigma} + \eta_l}{\eta_l},$$

где  $\eta_l$  – коэффициент потерь вибрирующей поверхности до нанесения вибропоглощающего покрытия (для стали  $\eta_l = 0,01$ );  $\eta_{\Sigma}$  – то

же, при наличии вибропоглощающего покрытия.

4. Уровень скорости вибрации при наличии вибродемпфирующего покрытия  $N_v$ , дБ

$$N_v = N_0 - \Delta N.$$

5. Результаты расчетов представить в виде графика, отложив по оси абсцисс среднегеометрические частоты октавных полос, по оси ординат – уровни колебательной скорости, и вынести в табл. 2.6.

**Таблица 2.6 – Расчет параметров локальной вибрации**

Величина	Октавные полосы частот, Гц							
	16	32	63	125	250	500	1000	2000
$v$ , $\text{мс}^{-1}$								
$N_0$ , дБ								
$N_{v \text{ доп}}$ , дБ								
$N_v - N_{v \text{ доп}}$ , дБ								
$N$								
$N_v$ , дБ								

#### *Контрольные вопросы*

1. Что такое вибрация?
2. Назовите источники производственной вибрации?
3. По каким критериям классифицируют производственную вибрацию?
4. Как осуществляется гигиеническая оценка производственной вибрации?
5. Какие существуют методы виброзащиты?

#### **2.4. РАСЧЕТ И ВЫБОР ПОСАДОК С НАТЯГОМ**

Посадки с натягом предназначены для получения неподвижных неразъемных соединений. Их широкое применение объясняется простотой конструкций соединения. Относительная неподвижность деталей обеспечивается силами трения, возникающими на контактирующих поверхностях вследствие их деформации, создаваемой натягом при сборке. Прочность соединения с натягом зависит от:

- геометрических параметров деталей и соединения (диаметр, длина соединения, параметры шероховатости, величина натяга и др.);
- физико-механических свойств материалов соединяемых деталей (модуль упругости, предел текучести и др.);
- условий нагружения (величина передаваемых усилий, моментов, скорость вращения и масса вращающихся деталей);
- технологии сборки соединения (условия запрессовки, усилие

запрессовки, скорость запрессовки, форма фасок соединяемых деталей).

По способу сборки различают цилиндрические соединения с натягом, собираемые *запрессовкой* и с *нагревом* охватывающей или *охлаждением* охватываемой детали. Надежность соединения, собираемого с нагревом или охлаждением, примерно в 1,5 раза выше, чем у соединения, собираемого запрессовкой, так как при запрессовке неровности контактных поверхностей деталей частично срезаются и сглаживаются, что ослабляет прочность соединения. Значение натяга и соответственно вид посадки соединения с натягом определяются в зависимости от требуемого давления на посадочной поверхности соединяемых деталей. Давление (рис. 2.18) должно быть таким, чтобы силы трения, возникающие на посадочной поверхности соединения, полностью противодействовали внешним силам, действующим на детали соединения (осевой силе и крутящему моменту).

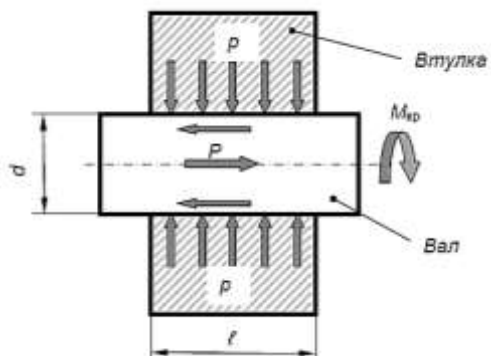


Рис. 2.18. – Соединение деталей с натягом:  
 $p$  – давление на посадочную поверхность;  $P$  – осевая сила;  
 $M_{кр}$  – крутящий момент;  $l$  – длина контакта сопрягаемых  
поверхностей;  $d$  – диаметр соединения

Посадка с натягом это соединение размерных элементов двух деталей (отверстия и вала), в котором действительные размеры любого из отверстий меньше действительных размеров любого вала до их сборки. При графическом изображении допусков (рис. 2.19) такой посадки интервал допуска отверстия всегда расположен ниже интервала допуска вала.

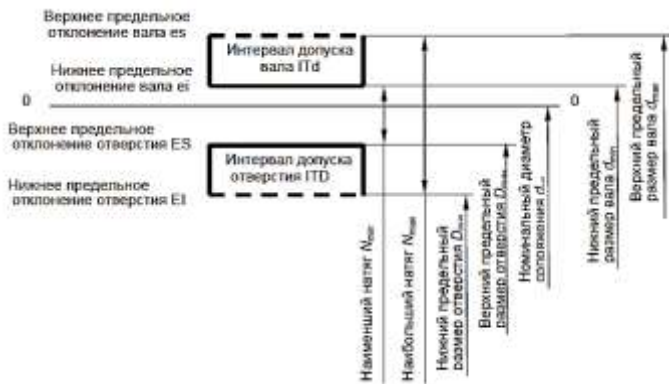


Рис. 2.19. Расположение интервалов допусков в посадке с натягом

Минимальный допускаемый натяг  $N_{\min}$  определяется, исходя из возможных наибольших сил, действующих на сопряжение (прочности соединения), а максимальный натяг  $N_{\max}$  рассчитывается из условий прочности деталей.

### Задание

Рассчитать минимально допустимый натяг для соединения (рис. 2.20). Запрессовка деталей механическая, т.е. рабочая температура близка к температуре сборки. Выбрать посадку с натягом по ГОСТ 25346-2013. Исходные данные для расчета представлены в табл. Б4 (см. прил. Б)

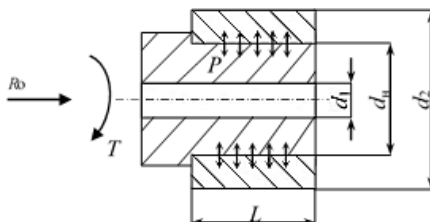


Рис. 2.20. Эскиз к расчету соединения с натягом

### Ход решения

1. Минимальное удельное давление на контактных поверхностях соединения, Па  
только при действии крутящего момента

$$\left[ P_{\min} \right] = \frac{2T}{\pi d_n^2 L f};$$

где  $T$  – крутящий момент, стремящийся повернуть одну деталь относительно другой, Н·м;  $d_n$  – номинальный диаметр соединения, м;  $L$  – длина контакта сопрягаемых поверхностей, м;  $f$  – коэффициент трения при установившемся процессе распрессовки или проворачивания (принимается  $f = 0,15$ ); только при действии осевой силы

$$[P_{\min}] = \frac{R_o}{\pi d_n L f},$$

где  $R_o$  – продольная осевая сила, стремящаяся сдвинуть одну деталь относительно другой, Н; при одновременном действии крутящего момента и осевой силы

$$[P_{\min}] = \frac{\sqrt{\left(\frac{2T}{d_n}\right)^2 + R_o^2}}{\pi d_n L f}.$$

2. Наименьший расчетный натяг  $N_{\min}$ , м, определяется из условия обеспечения прочности соединения (неподвижности) под действием осевой силы  $R_o$  и крутящего момента  $T$

$$N'_{\min} = [P_{\min}] d_n \left( \frac{C_D}{E_D} + \frac{C_d}{E_d} \right),$$

где  $E_D$  и  $E_d$  – модули упругости материалов охватываемой и охватывающей детали, Па (для всех вариантов принять материал вала и втулки Ст45,  $E = 2 \cdot 10^{11}$  Па);  $C_D$  и  $C_d$  – коэффициенты жесткости конструкции, определяемые по формулам

$$C_D = \frac{\left[ 1 + \left( \frac{d}{d_2} \right)^2 \right]}{\left[ 1 - \left( \frac{d}{d_2} \right)^2 \right]} + \mu_D,$$

$$C_d = \frac{\left[ 1 + \left( \frac{d_1}{d} \right)^2 \right]}{\left[ 1 - \left( \frac{d_1}{d} \right)^2 \right]} - \mu_d,$$

где  $d_1$  – внутренний диаметр вала (при сплошном вале  $d_1 = 0$ ), мм;  $d_2$  – наружный диаметр втулки, мм;  $\mu_D$  и  $\mu_d$  – коэффициенты Пуассона материалов охватывающей и охватываемой деталей (для Ст45  $\mu = 0,3$ ).

3. Наибольшее допустимое давление, при котором отсутствуют пластические деформации, Па для втулки

$$[P_{\max D}] = 0,58\sigma_{TD} \left[ 1 - \left( \frac{d_n}{d_2} \right)^2 \right],$$

для вала

$$[P_{\max d}] = 0,58\sigma_{Td} \left[ 1 - \left( \frac{d_1}{d_n} \right)^2 \right],$$

где  $\sigma_{TD}$ ,  $\sigma_{Td}$  – предел текучести материалов охватывающей и охватываемой деталей, Па (для Ст45  $\sigma_T = 36 \cdot 10^7$  Па).

4. Наибольший расчетный натяг  $N_{\max}$ , м, определяем из условия обеспечения прочности сопрягаемых деталей (до наступления пластической деформации или разрушения)

$$N'_{\max} = [P_{\max}] d_n \left( \frac{C_D}{E_D} + \frac{C_d}{E_d} \right),$$

где в качестве  $[P_{\max}]$  выбирается наибольшее из значений  $[P_{\max D}]$  и  $[P_{\max d}]$ .

Для учета конкретных условий эксплуатации соединения в расчетные предельные натяги необходимо внести поправки.

5. Величины минимального и максимального допустимого натягов с учетом поправок, м

$$[N_{\min}] = N'_{\min} + \gamma_{\text{ш}} + \gamma_t + \gamma_{\text{ц}};$$

$$[N_{\max}] = N'_{\max} \cdot \gamma_{\text{уд}} + \gamma_{\text{ш}} - \gamma_t,$$

где  $\gamma_{\text{ш}}$  – поправка, учитывающая смятие неровностей контактных поверхностей деталей при образовании соединения (при запрессовке), м;  $\gamma_t$  – поправка, учитывающая различие рабочей температуры деталей, температуры сборки и коэффициентов линейного расширения (при механической запрессовке принимается  $\gamma_t = 0$ ), м;  $\gamma_{\text{ц}}$  – поправка, учитывающая ослабление натяга под действием центробежных сил (при невысоких скоростях вращения принимают  $\gamma_{\text{ц}} = 0$ ), м;  $\gamma_{\text{уд}}$  – поправка, учитывающая увеличение контактного давления у торцов охватывающей детали (рис. 2.21).

6. Поправка, учитывающая смятие неровностей контактных поверхностей деталей при образовании соединения (при запрессовке), м

$$\gamma_{\text{ш}} \approx 5 \cdot (R_{aD} + R_{ad}),$$

где  $R_{aD}$ ,  $R_{ad}$  – значение параметров шероховатости поверхности отверстия и вала соответственно, м.

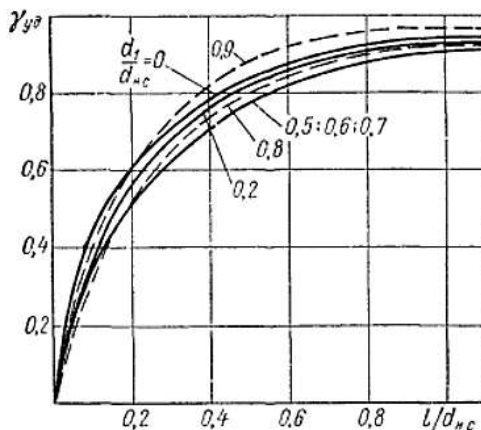


Рис. 2.21. Коэффициент увеличения контактного давления у торцов охватывающей детали  $\gamma_{y\partial}$ ;  $d_1$  – диаметр охватываемой поверхности;  $d_{нс}$  – номинальный диаметр соединения;  $L$  – длина сопряжения

## 7. Выбор посадки по ГОСТ 25346-2013

Значения натягов, определенных по ГОСТ ( $N_{\max}$  и  $N_{\min}$ ), должны отвечать условию

$$\begin{cases} N_{\min} \geq [N_{\min}]; \\ N_{\max} \leq [N_{\max}]. \end{cases}$$

Для этого:

– рассчитывают расчетный допуск натяга (максимальный разброс посадки), мкм

$$ITN = [N_{\max}] - [N_{\min}];$$

– подбирают (по табл. 2.7) числовые значения допусков отверстия ( $ITD$ ) и вала ( $ITd$ ) таким образом, чтобы сумма этих допусков не превышала расчетный допуск натяга

$$ITD + ITd \leq ITN;$$

– подбирают числовые значения основных (нижних или верхних) отклонений ( $EI$  или  $ES$ ) отверстия (табл. Б5, см. прил. Б) и ( $ei$  или  $es$ ) вала (табл. Б6, см. прил. Б);

– рассчитывают вторые (неосновные) отклонения отверстия и вала:

- если основным отклонением является нижнее отклонение  $EI$  ( $ei$ ), то второе отклонение  $ES$  ( $es$ ) =  $EI$  ( $ei$ ) +  $ITD$  ( $ITd$ );
- если основным отклонением является верхнее отклонение



$ES(es)$ , то второе отклонение  $EI(ei) = ES(es) - ITD(ITd)$ ;

– проверяем правильность подбора числовых значений основных отклонений отверстия и вала и расчета вторых (неосновных) отклонений на соблюдение неравенств

$$\begin{cases} N_{\min} = ei - ES \geq [N_{\min}]; \\ N_{\max} = es - EI \leq [N_{\max}]. \end{cases}$$

**Таблица 2.7 – Числовые значения допусков**

Интервал номинальных размеров		Квалитеты									
		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
свыше	до	мкм							мм		
30	50	11	16	25	39	62	100	160	0,25	0,39	0,62
50	80	13	19	30	46	74	120	190	0,30	0,46	0,74
80	120	15	22	35	54	87	140	220	0,35	0,54	0,87

Посадку желательно выбирать в системе «отверстия» (т.е. принимать  $EI = 0$ ), но в случае необходимости (невозможности подбора или получения посадок слишком большой точности изготовления – точнее 5-го квалитета) следует применять систему «вала» или использовать «внесистемную» посадку.

После выбора посадки необходимо построить схему расположения интервалов допусков в посадке с натягом в соответствии с рис. 2.19.

### 3. БЕЗОПАСНОСТЬ МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА

Механические цеха, содержащие различные металлорежущие станки, присутствуют практически на всех предприятиях тяжелой промышленности. Цех является производственным помещением, которое предназначено для выполнения различных работ по изготовлению металлоизделий. Помещение цеха разбито на несколько зон - участков: механический, гальванический, сборочный и т.д. Одним из основных участков является механический. Он оснащен металлорежущими станками и вспомогательным оборудованием.

Вредными физическими производственными факторами, характерными для процесса резания, являются повышенная запыленность воздуха и недостаточная освещенность рабочей зоны; повышенная пульсация светового потока; высокий уровень шума и вибрации; движущиеся части производственного оборудования, передвигающиеся изделия и заготовки; стружка обрабатываемых

материалов, осколки инструментов, высокая температура поверхности обрабатываемых деталей и инструмента; повышенное напряжение в электроцепи или статическое электричество и т.д.

### 3.1. РАСЧЕТ ЗАЩИТНОГО ОГРАЖДЕНИЯ МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩЕГО СТАНКА

Ограждения представляют собой физическую преграду между человеком и опасным или вредным производственным фактором. Защитные ограждения, приспособления и устройства должны исключать: возможность соприкосновения работника с движущимися частями машины; выпадение или вылет обрабатываемых деталей (материалов), а также частей рабочих органов при их поломках; попадание в работающих частичек обрабатываемого материала; возможность травмирования при установке и смене рабочих органов или инструментов.

В соответствии с ГОСТ 12.2.009-99 должна ограждаться зона обработки универсальных станков при обработке заготовок диаметром до 630 мм включительно; универсальных фрезерных станков с крестовым столом, зубообрабатывающих, шлифовальных, круглопильных и ленточных отрезных станков (нерабочая зона режущего инструмента).

Защитные экраны металлорежущих станков должны защищать работающего от отлетающей стружки и смазочно-охлаждающей жидкости; иметь массу не более 6 кг и крепление, не требующее ключей и отверток (защитные устройства открывающего типа должны при установившемся движении перемещаться с усилием не более 40 Н).

Для обеспечения необходимой жесткости защитные ограждения выполняются из листовой стали толщиной не менее 0,8 мм, листового алюминия толщиной не менее 2 мм или прочной пластмассы толщиной не менее 4 мм.

Смотровые окна в защитных экранах на станках, работающих лезвийным инструментом необходимо изготавливать из закаленного стекла (ГОСТ 21836-88) толщиной не менее 4 мм.

Защитные экраны не должны ограничивать технологические возможности станка и вызывать неудобства при работе, уборке, наладке, а также приводить при открывании к загрязнению пола смазочно-охлаждающей жидкостью.

При необходимости защитные экраны следует снабжать рукоятками, скобами для удобства открывания и закрывания, снятия, перемещения и установки. Крепление защитных устройств должно

быть надежным, исключаящим случаи самооткрывания.

### *Задание*

Рассчитать ударную нагрузку на защитное ограждение станка при разрыве шлифовального круга. Подобрать толщину стенки ограждения в зависимости от расчетной ударной нагрузки. Варианты задания на расчет представлены в табл. В1 (прил. В).

### *Ход решения*

1. При разрыве абразивного круга на две части ударная нагрузка на ограждение  $P_{уд}$ , Н, составляет

$$P_{уд} = \frac{mv^2}{2R_0},$$

где  $m$  – масса шлифовального круга, кг;  $v$  – окружная скорость шлифовального круга, м/с;  $R_0$  – радиус центра тяжести половины шлифовального круга, м.

2. Радиус центра тяжести половины шлифовального круга определяется по формуле

$$R_0 = \frac{4}{3\pi} \cdot \frac{\left(\frac{D}{2}\right)^3 - \left(\frac{d}{2}\right)^3}{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2},$$

где  $D$  – внешний диаметр шлифовального круга, м;  $d$  – диаметр центрального отверстия шлифовального круга, м.

3. Толщина стенки ограждения подбирается по табл. 3.1.

**Таблица 3.1 – Толщина стенки ограждения в зависимости от ударной нагрузки**

Ударная нагрузка, кН	Толщина стенки ограждения, мм	Ударная нагрузка, кН	Толщина стенки ограждения, мм	Ударная нагрузка, кН	Толщина стенки ограждения, мм
4,91	1	39,69	7	102,9	13
8,33	2	47,04	8	115,64	14
14,6	3	61,74	9	139,16	15
17,15	4	73,5	10	159,74	16
25,67	5	80,36	11	188,16	17
31,16	6	96,04	12	205,8	18

### *Контрольные вопросы*

1. Что такое защитное ограждение?

2. Какие опасные зоны следует защищать ограждениями?
3. Каково назначение защитных ограждений?
4. Из чего выполняются защитные экраны металлорежущих станков?
5. Из чего изготавливают смотровые окна в ограждениях?

### 3.2. ГИГИЕНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В ВОЗДУХЕ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

В результате производственной деятельности в воздушную среду могут поступать различные вредные вещества в виде паров, газов, пыли. Вредное вещество – это вещество, которое при контакте с организмом человека может вызвать производственные травмы, профессиональные заболевания или отклонения в состоянии здоровья, как в процессе работы, так и в последующие сроки жизни настоящего и будущего поколений.

Пары, газы, жидкости, аэрозоли, соединения, смеси при контакте с организмом человека могут вызывать заболевания или отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемые современными методами исследования как в процессе контакта с ним, так и в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. Воздействие вредных веществ на человека может сопровождаться отравлениями и травмами.

Химические вещества классифицируются на:

- *промышленные яды*, используемые в производстве: органические растворители (дихлорэтан), топливо (пропан, бутан), красители (анилин);
- *ядохимикаты*, используемые в сельском хозяйстве: пестициды;
- *лекарственные средства* (ацетилсалициловая кислота);
- *бытовые химикаты*, применяемые в виде пищевых добавок (уксусная кислота),
- *средства санитарии, личной гигиены, косметики*;
- *биологические растительные и животные яды*, которые содержатся в растениях (аконит, цикута), в грибах (мухомор), у животных (змеи) и насекомых (пчелы);
- *отравляющие вещества (ОВ)* - зарин, иприт, фосген.

В организм вредные химические вещества могут проникать через органы дыхания, желудочно-кишечный тракт и неповрежденную кожу. Однако основным путем поступления являются легкие. Помимо острых и хронических профессиональных отравлений, промышленные яды могут быть причиной понижения устойчивости организма и повышенной общей заболеваемости. По характеру воздействия на

человека все вредные вещества делятся на токсичные и нетоксичные.

*Токсическое действие вредных веществ* – это результат взаимодействия организма, вредного вещества и окружающей среды. Показатель токсичности вещества определяется его опасностью.

*Опасность вещества* – это способность вещества вызывать негативные для здоровья эффекты в условиях производства, города или в быту.

Об опасности веществ можно судить по критериям токсичности:

*ПДК* – предельно допустимой концентрации в воздухе рабочей зоны, воде, почве;

*ОБУВ* – ориентировочному безопасному уровню воздействия для тех же сред;

*КВНО* – коэффициенту возможного ингаляционного отравления; средним смертельным дозам и концентрациям в воздухе, на коже, в желудке, по величине порогов вредного действия (однократного, хронического), порога запаха, а также порогов специфического действия (аллергенного, канцерогенного и др.).

Эффект воздействия различных веществ зависит от количества попавшего в организм вещества, его физико-химических свойств, длительности поступления, химических реакций в организме, от пола, возраста, индивидуальной чувствительности, пути поступления и выведения, распределения в организме, а также метеорологических условий и других сопутствующих факторов окружающей среды.

По степени воздействия на организм человека вредные вещества в соответствии с классификацией ГОСТ 12.1.007-76 «ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности» подразделяются на 4 класса опасности:

1 – *чрезвычайно опасные вещества*,  $\text{ПДК} < 0,1 \text{ мг/м}^3$ , например, свинец, ртуть, озон;

2 – *высоко опасные вещества*,  $\text{ПДК} = 0,1 - 1,0 \text{ мг/м}^3$ , например, марганец, хлор, азотная кислота;

3 – *умеренно опасные*,  $\text{ПДК} = 1,0 - 10 \text{ мг/м}^3$ , например, азота диоксид, метиловый спирт, сернистый ангидрид;

4 – *малоопасные*,  $\text{ПДК} > 10 \text{ мг/м}^3$ , например, угарный газ, ацетон, аммиак.

Отравления являются наиболее неблагоприятной формой негативного воздействия токсичных веществ на человека. Они могут протекать в острой и хронической формах.

*Острые отравления* чаще бывают групповыми и происходят в результате аварий, поломок оборудования или грубых нарушений требований безопасности; они характеризуются кратковременностью

действия ядов, не более чем в течение одной смены; поступлением в организм вредного вещества в относительно больших количествах - при высоких концентрациях в воздухе, ошибочном приеме внутрь, сильном загрязнении кожных покровов.

*Хронические отравления* возникают постепенно, при длительном поступлении яда в организм в относительно небольших количествах. Отравления развиваются вследствие накопления массы вредного вещества в организме (материальная кумуляция) или вызываемых ими нарушений в организме (функциональная кумуляция). При повторном воздействии одного и того же яда в околотоксической дозе может измениться характер течения отравления и кроме кумуляции развивается сенсibilизация (привыкание).

Вещества по характеру воздействия подразделяются на:

- *общетоксические*, которые вызывают отравление всего организма или поражающие ЦНС, кровотворение, вызывающие болезни печени, почек (свинец, ртуть);
- *раздражающие*, которые вызывают раздражение слизистых оболочек дыхательных путей, глаз, легких, кожи (хлор, азота окислы);
- *сенсibilизирующие*, действующие как аллергены (формальдегид, растворители, лаки);
- *мутагенные*, приводящие к нарушению генетического кода, изменению наследственной информации (свинец, марганец, радиоактивные изотопы);
- *канцерогенные*, вызывающие злокачественные опухоли (хром, никель, асбест);
- *вещества, влияющие на репродуктивную (детородную) функцию* (ртуть, стирол, радиоактивные изотопы).

Эта классификация не учитывает большой группы аэрозолей (пыли), которые не обладают выраженной токсичностью. Для них характерен фиброгенный эффект действия на организм, который приводит к развитию соединительной ткани в воздухообменной зоне и рубцеванию (фиброзу) легких.

Профессиональные заболевания, связанные с воздействием аэрозолей, пневмокониозы (силикоз – развивается при действии свободного диоксида кремния, силикатоз – при попадании в легкие солей кремниевой кислоты, асбестоз – одна из агрессивных форм силикатоза), пневмосклерозы, хронический пылевой бронхит занимают второе место по частоте среди всех профессиональных заболеваний в России. Наличие фиброгенного эффекта не исключает общетоксического воздействия аэрозолей.

Человек в условиях современного производства часто

подвергается комбинированному действию вредных веществ, а также воздействию негативных факторов другой природы (физических – шуму, вибрации, электромагнитным и ионизирующим излучениям). При этом возникает эффект сочетанного (при одновременном действии негативных факторов различной природы) или комбинированного (при одновременном действии нескольких химических веществ) действия химических веществ.

*Комбинированное действие* – это одновременное или последовательное действие на организм нескольких веществ при одном и том же пути их поступления в организм. В зависимости от эффекта токсичности различают несколько типов комбинированного действия. Многие загрязняющие вещества, содержащиеся в выбросах промышленных предприятий и других источников загрязнения, обладают сходным токсическим действием на живые организмы. Кроме того, ряд веществ может усиливать свою токсичность в присутствии других. Это явление называют эффектом суммации вредного вещества.

*Суммация (аддитивное действие)* – суммарный эффект действия смеси равен сумме эффектов входящих в смесь компонентов. Суммация характерна для веществ общенаправленного действия, когда вещества оказывают одинаковое воздействие на одни и те же системы организма (например, смеси углеводов).

Для гигиенической оценки воздушной среды при совместном присутствии в воздухе нескольких веществ, обладающих суммацией действия, сумма их концентраций (коэффициент кратности) не должна превышать единицы.

*Потенцирование* (синергетическое действие) – вещества действуют так, что одно вещество усиливает действие другого. Эффект синергизма больше аддитивного. Например, алкоголь значительно повышает опасность отравления анилином.

*Антагонизм* – одно вещество ослабляет действие другого. Эффект меньше аддитивного. Например, эзерин значительно снижает действие антропина, являясь его противоядием.

*Независимость* – эффект не отличается от изолированного действия каждого из веществ. Независимость характерна для веществ разнонаправленного действия, когда вещества оказывают различное влияние на организм и воздействуют на разные органы. Например, бензол и раздражающие газы.

Наряду с комбинированным действием веществ выделяется комплексное действие. При комплексном действии вредные вещества поступают в организм одновременно, но разными путями. Например,

через органы дыхания и кожу, органы дыхания и желудочно-кишечный тракт.

### *Гигиеническое нормирование негативных факторов*

Требование полного отсутствия вредных веществ в зоне дыхания работающих зачастую невыполнимо, поэтому особую важность приобретает гигиеническое нормирование, т. е. ограничение содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны до предельно допустимых концентраций. Гигиенические нормативы 2.25.1313-03 «Предельно допустимые концентрации в воздухе рабочей зоны» устанавливают ПДК вредных веществ в рабочей зоне ПДК<sub>р.з.</sub>.

Для исключения необратимых биологических эффектов ограничивают воздействие негативных факторов предельно допустимыми уровнями (ПДУ) или предельно допустимыми концентрациями (ПДК). ПДК и ПДУ – это максимальное значение факторов, которые, воздействуя на человека (изолированно или в сочетании с другими факторами) в течение рабочей смены, ежедневно, на протяжении всего трудового стажа, не вызывает у него и у его потомства биологических изменений, даже скрытых и временно компенсируемых.

ПДК и ПДУ устанавливают для производственной среды и населенных мест. При их установлении необходимо руководствоваться следующими принципами:

- приоритет (важность) всех медицинских и биологических показаний к установлению санитарных регламентов перед прочими подходами (техническая достижимость, экономические требования, целесообразность);
- наличие порога воздействия для всех типов действия неблагоприятных факторов (в том числе химических соединений мутагенного и канцерогенного действия, ионизирующего излучения), ниже которого не наблюдается их отрицательного влияния;
- нацеленность профилактических мероприятий и средств защиты на предотвращение негативного воздействия факторов опасности.

Содержание вредных веществ в воздухе регламентируется ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны», гигиеническими нормами, СНиП, отраслевыми правилами.

Содержание вредных веществ в атмосферном воздухе населенных мест ограничивается величинами предельно допустимой концентрации



(ПДК), нормируются средняя суточная концентрация вещества (ПДК<sub>с.с.</sub>) и максимальная разовая (ПДК<sub>м.р.</sub>).

*Максимально разовая ПДК<sub>м.р.</sub>* – это такая концентрация вредного вещества в воздухе, которая не должна вызывать при вдыхании его в течении 30 мин рефлекторных реакций в организме человека (ощущение запаха, изменение световой чувствительности глаз и др.).

*Среднесуточная ПДК<sub>с.с.</sub>* – это такая концентрация вредного вещества в воздухе, которая не должна оказывать на человека прямого или косвенного вредного воздействия при неопределенно долгом (годы) воздействии.

*Предельно-допустимая концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны (ПДК, мг/м<sup>3</sup>)* – это концентрация, которая при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 ч или другой продолжительности, но не более 41 ч в неделю в течение всего рабочего стажа не может вызвать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследования в процессе работы или отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений

#### *Мероприятия по обеспечению безопасности труда при контакте с вредными веществами*

- замена вредных веществ менее вредными и безвредными;
- внедрение прогрессивной технологии;
- выбор оборудования, не допускающих выделения вредных веществ, а также санитарно-технического оборудования - отопления, вентиляции, водопровода, канализации;
- организация и регулирование обмена воздуха в помещении;
- рациональная планировка помещения;
- использование средств индивидуальной защиты;
- специальная подготовка и инструктаж обслуживающего персонала;
- проведение предварительных и периодических медицинских осмотров;
- контроль за содержанием вредных веществ в воздухе рабочей зоны;
- обеспечение работающих, связанных с вредными условиями труда, профпитанием.

#### *Задание*

Определить возможность возникновения эффекта суммации заданных вредных веществ в рабочей зоне (табл. В2, прил. В).

### Ход решения

1. Заполнить графы 1 – 5 табл. 3.2, используя исходные данные (см. табл. В2, прил. В) и информацию о ПДК заданных веществ (табл. В3, прил. В).

**Таблица 3.2 – Анализ содержания вредных веществ в рабочей зоне**

Наименование вещества	Концентрация вещества в воздухе рабочей зоны, мг/м <sup>3</sup>		Класс опасности	Особенности воздействия	$\frac{C_{\text{факт.}}}{\text{ПДК}}$	Наличие эффекта суммации
	фактическая	ПДК				
1	2	3	4	5	6	7

2. Рассчитать для каждого заданного вещества отношение  $\frac{C_{\text{факт.}}}{\text{ПДК}}$ .

Занести результаты в столбец 6 табл. 3.2.

3. Определить из совокупности заданных веществ с помощью табл. В4 (см. прил. В) поллютанты, обладающие эффектом суммации. При выборе необходимо считать, что эффект суммации имеет место, если хотя бы два из заданных веществ приведены в одной и той же группе Перечня веществ, обладающих эффектом суммации (см. табл. В4, прил. В). Если выявится несколько групп веществ, обладающих эффектом суммации, то следует использовать цифровую индексацию Σ1, Σ2 и т.д. (столбец 7 табл. 3.2).

4. Сделать вывод о наличии эффекта суммации среди заданных по варианту вредных веществ.

5. Рассчитать коэффициент кратности  $K$  для каждой из выявленных групп веществ, обладающих эффектом суммации по формуле

$$K = \frac{C_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_2} + \dots + \frac{C_n}{\text{ПДК}_n} \leq 1,$$

где  $C_1, C_2, C_n$  – концентрации каждого вещества в воздухе, обладающих эффектом суммации, мг/м<sup>3</sup>;  $\text{ПДК}_1, \dots, \text{ПДК}_n$  – соответствующие им предельно допустимые концентрации этих веществ, мг/м<sup>3</sup>.

6. Определить класс вредности условий труда, исходя из максимального коэффициента кратности, по таблице В5 (см. прил. В).

7. С учетом установленного класса и подкласса условий труда назначается комплекс мер для снижения класса и подкласса вредности (если он окажется выше классов 1 или 2).

### *Контрольные вопросы*

1. Приведите классификацию химических веществ.
2. Перечислите пути проникновения химических веществ в организм человека. Как подразделяются химические вещества по характеру воздействия?
3. Назовите критерии токсичности вещества.
4. Что такое комбинированное воздействие веществ? Какие бывают виды комбинированного воздействия?
5. Как определяется эффект суммации?

### 3.3 РАСЧЕТ ОБЩЕОБМЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ В МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИХ ЦЕХАХ

Полное отсутствие вредных веществ в зоне дыхания работающих в механических цехах часто невыполнимо, поэтому необходимо *гигиеническое нормирование*, т.е. ограничение содержания загрязняющих веществ в воздухе рабочей зоны до уровня ПДК<sub>рз</sub>, регламентируемого ГОСТ 12.1.005 – 88 (2001) и ГН 2.2.5.686 – 98 (2009). Требуемая концентрация загрязняющих веществ достигается вентиляцией воздуха рабочей зоны. В зависимости от назначения вентиляция может быть приточной и вытяжной, от способа создания воздухообмена – местной (действует непосредственно на рабочем месте, в настоящем технологическом процессе не предусмотрена) и общеобменной.

### *Задание*

Определить количество воздуха, подаваемого в производственное помещение в единицу времени, исходя из гигиенических норм, выбрать вентилятор и электродвигатель. Варианты чертежа детали и маршрута ее обработки приведены в табл. В6 – В14 (см. прил. В).

### *Ход решения*

В результате технологического процесса обработки деталей на металлорежущих станках отсутствуют источники явной теплоты, поэтому подачу необходимого объема воздуха в единицу времени на участок механического цеха рассчитываем по массе выбросов загрязняющих веществ. Процесс резания различных материалов сопровождается выбросом пыли, которая является веществом 4-го класса опасности, ПДК<sub>рз</sub> = 6 мг/м<sup>3</sup>. В воздухе, подаваемом на участок, пыль отсутствует.

1. Масса выбросов пыли, мг/ч, в результате воздействия режущего инструмента на обрабатываемый материал, определяется из выражения

$$M = \frac{10^3 N \sum_{i=1}^n (q_i \cdot T_{oi})}{t_{\text{сум}} \cdot t_{\text{ч}}},$$

где  $N$  – годовая производственная программа, шт./год;  $q_i$  – удельный выброс пыли при механической обработке материала, г/с (выбирается по табл. 3.3 и 3.4);  $T_{oi}$  – машинное время (время, необходимое на выполнение одной операции, выбирается из приложения к маршруту обработки детали), с/шт.;  $n$  – число операций механической обработки детали ( $i = 1, 2 \dots n$ );  $t_{\text{сум}}$  – фонд рабочего времени (число рабочих дней в году),  $t_{\text{дн}} = 255$  сут;  $t_{\text{ч}}$  – число часов работы оборудования в сутки, ч (в зависимости от технологического процесса принимается 8, 10 или 16 ч).

**Таблица 3.3 – Удельный выброс пыли  $q_i$  при механической обработке материала, г/с**

Вид обработки	Наименование материала			
	Чугун и сталь	Бронза и другие цветные металлы	Текстолит	Карболит
Точение (токарная)	0,0083	0,0028	0,019	0,017
Фрезерование	0,0055	0,0019	0,031	0,064
Сверление	0,0011	0,0004	—	0,012
Растачивание	0,0028	0,0007	—	0,017

*Примечание:* обработка деталей на резьбонакатном станке производится без снятия стружки; операцию на горизонтально-протяжном станке следует приравнять к резанию.

**Таблица 3.4 – Удельный выброс пыли  $q_i$  технологическим оборудованием при механической обработке материала, г/с**

Диаметр шлифовального круга, мм	Тип станков	
	круглошлифовальные	заточные
200	0,117	0,062
300	0,155	0,135
400	0,180	0,182

*Примечание:* механическую обработку деталей на вибрационной машине, машине для снятия заусенцев, верстаке механизированном можно приравнять к операциям на заточных станках.

2. Количество воздуха, м<sup>3</sup>/ч, подаваемого в производственное помещение для обеспечения требуемых гигиенических условий воздушной среды

$$L = \frac{M}{C_{yx} - C_n},$$

где  $M$  – масса загрязняющего вещества, поступающего в воздух производственного помещения в результате осуществления технологического процесса на металлорежущих станках, мг/ч;  $C_{\text{ух}}$  – концентрация вредного вещества в воздухе, удаляемом из помещения за пределы рабочей зоны (принимается равной величине ПДК<sub>р.з.</sub> удаляемого вещества), мг/м<sup>3</sup>;  $C_n$  – концентрация вредного вещества в приточном воздухе, мг/м<sup>3</sup> (как правило, при отсутствии экспериментальных данных принимается  $C_n = 0$ ).

3. В зависимости от величины рассчитанного количества приточного воздуха выбирается тип вентилятора и электродвигатель. Процедура выбора происходит следующим образом.

На рис. В9 (см. прил. В) откладывается значение (приблизительное) рассчитанного необходимого количества воздуха для проветривания помещения (подача, тыс. м<sup>3</sup>/ч). Далее из этой точки восстанавливается перпендикуляр. В области его пересечения с горизонталью, соответствующей полному давлению в 1 кПа (в связи с отсутствием данных о сопротивлении воздуха в трубопроводе, принимаем полное давление в системе 1 кПа), выбираем ближайшую кривую с указанием марки вентилятора. Наклонные (вправо) кривые отображают КПД вентилятора. Из табл. В15 по типу вентилятора подбираем частоту вращения вентилятора, тип электродвигателя, его мощность и частоту вращения вала. Данные заносятся в табл. 3.5.

**Таблица 3.5 – Технические характеристики вентилятора электродвигателя**

Модель	Тип	Частота вращения вентилятора, мин <sup>-1</sup>	Тип двигателя	Мощность эл. двигателя кВт	Частота вращения двигателя, мин <sup>-1</sup>

Несоответствие частот вращения вентилятора и электродвигателя устраняется подбором диаметра шкива ременной передачи.

4. Для экологической защиты окружающей среды удаляемый из производственных помещений и непосредственно от оборудования воздух должен быть очищен от вредных включений перед выбросом в открытую атмосферу. Исходя из годовой производственной программы, отходящая от металлообрабатывающих станков масса пыли в единицу времени, т/год, определится как

$$M_z = 10^{-6} N \sum_{i=1}^n q_i \cdot T_o$$

5. Масса пыли, попадающая в атмосферу с учетом очистки в

циклонах, т/год

$$M_{\eta} = (1 - \eta) M_{\varepsilon},$$

где  $\eta$  – КПД циклона, рекомендовано принимать  $\eta = 0,9$ .

#### *Контрольные вопросы*

1. Какие нормативные документы регламентируют содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны?
2. Какие существуют разновидности вентиляции рабочей зоны в зависимости от назначения?
3. Какие существуют разновидности вентиляции рабочей зоны в зависимости от способа создания воздухообмена?
4. Опишите процедуру выбора вентилятора для общеобменной вентиляции в металлообрабатывающем цехе.
5. Какое оборудование применяют для очистки удаляемого воздуха из помещений металлообрабатывающего цеха перед выбросом в атмосферу? Какова рекомендованная эффективность очистки с помощью данного оборудования?

### 3.4 РАСЧЕТ ПРИЗЕМНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ПЫЛИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ САНИТАРНО-ЗАЩИТНОЙ ЗОНЫ МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА

Исходя из СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200–03 «Санитарно–защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов», любые объекты, которые являются источниками выбросов в ОПС вредных веществ, а также источниками шума, вибрации, ультразвука, электромагнитных волн, радиочастот, статического электричества, необходимо в обязательном порядке отделять от жилой застройки санитарно-защитными зонами (СЗЗ). Поэтому СЗЗ стали ныне обязательными составными компонентами промышленного предприятия или иного объекта, являющихся источниками химического, биологического или физического воздействия на ОПС и здоровье человека.

СЗЗ — это зона пространства и растительности, специально выделенная между промышленным предприятием и районом проживания населения. Обеспечивая пространство для безопасного рассеивания вредных выбросов, она должна быть надлежащим образом озеленена и удовлетворять специальным гигиеническим требованиям.

В зависимости от концентрации объектов на данной территории, их мощности, условий эксплуатации, характера и количества выбрасываемых в атмосферу токсических веществ и т. п. для

предприятий, производств и иных объектов установлены следующие минимальные размеры СЗЗ: для предприятий I класса опасности составляют 1000 м, II класса – 500 м; III класса – 300 м; IV класса – 100 м; V класса – 50 м.

Санитарно-защитную зону нельзя рассматривать как резервную территорию предприятия и использовать для расширения промышленной площадки. На территории СЗЗ можно размещать объекты с производствами меньшего класса вредности, чем производство, для которого установлена СЗЗ, а также пожарное депо, гаражи, склады, административные здания, магазины, предприятия общественного питания, научно-исследовательские лаборатории, поликлиники, водопроводные и канализационные насосные станции, стоянки для общественного и индивидуального транспорта, линии электропередач, нефте- и газопроводы, объекты технического водоснабжения. На территории СЗЗ нельзя размещать: детские учреждения, школы, лечебно-профилактические и оздоровительные учреждения, стадионы и спортивные площадки, жилые здания.

При озеленении территории промышленных предприятий и их СЗЗ, обочин дорог обычно выбирают древесные, кустарниковые, цветочные и газонные растения в зависимости от климатического района, характера производства и эффективности данной породы для очистки воздуха, а также ее устойчивости к вредным газам. Установлено, что наиболее стойкими являются, например, акация белая, атлант высокий, клен ясенелистовый.

### *Задание*

Рассчитать максимальную приземную концентрацию пыли, выбрасываемой в атмосферный воздух за пределы цеха металлообработки и определить размер санитарно-защитной зоны и класс опасности предприятия. Исходные данные для расчета представлены в табл. В16 (см. прил. В).

### *Ход решения*

1. Объем выбрасываемой газовойдушной смеси определяется из выражения

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot \omega_0}{4},$$

где  $D$  – диаметр трубы, м;  $\omega_0$  – средняя скорость выхода газов из трубы, м/с.

2. Максимальная концентрация пыли, выбрасываемой в атмосферу, рассчитывается по формуле

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}},$$

где  $A$  – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы и определяющий условия рассеивания выбросов (для Ростова-на-Дону принимаем  $A = 200$ );  $M$  – масса вещества, выбрасываемого в атмосферу, г/с;  $F$  – коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных примесей в атмосфере (для пыли при эффективности очистки более 90%  $F = 2$ );  $V_1$  – объем выбрасываемой газовой смеси, м<sup>3</sup>/с;  $\Delta T = T_c - T_6$  – разность между температурой выбрасываемой газовой смеси  $T_c$  и температурой окружающего воздуха  $T_6$ ;  $m$  и  $n$  – коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из устья трубы (принимаем  $m \cdot n = 1,2$ ).

3. Расстояние  $X_m$  до места, где ожидается максимальная приземная концентрация  $C_m$

$$x_m = d \cdot H$$

Предварительно необходимо определить значение коэффициента  $V_m$ , от которого зависит выбор формулы  $d$

$$V_m = 0,65 \sqrt[3]{\frac{V_1 \cdot \Delta T}{H}}.$$

$$\text{При } V_m \leq 0,5: d = 2,48 \left(1 + 0,28 \sqrt[3]{f}\right);$$

$$\text{при } 0,5 \leq V_m < 2: d = 4,95 V_m \left(1 + 0,28 \sqrt[3]{f}\right);$$

$$\text{при } V_m > 2: d = 7 \sqrt{V_m} \left(1 + 0,28 \sqrt[3]{f}\right).$$

Коэффициент  $f$  рассчитывается по формуле

$$f = \frac{1000 \cdot \omega_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T}.$$

4. Для определения санитарно-защитной зоны необходимо построить график зависимости  $C = f(x)$ , где  $C$  – концентрация вредного вещества, мг/м<sup>3</sup>;  $x$  – расстояние от источника выброса, м. Для построения графика рассчитаем координаты 5 точек на нисходящей ветви. Значение  $x_i$  выбираем самостоятельно с учетом того, что  $x_i > x_m$ . Значение концентрации  $C_i$  для любого  $x_i$  рассчитываем по формуле:

$$C_i = C_m \cdot S_i,$$

где  $S_i$  – безразмерный коэффициент, учитывающий уменьшение приземной концентрации вдоль ветровой оси, проходящей через источник выделения загрязняющих веществ, в зависимости от



отношения расстояния  $x_i$  до расчетной точки от источника к расстоянию  $x_m$  от источника до точки, где наблюдается максимальная концентрация ( $x_i/x_m$ ) и рассчитываемый по формулам:

$$\text{при } \frac{x_i}{x_m} \leq 1 \quad S_i = 3 \left( \frac{x_i}{x_m} \right)^4 - 8 \left( \frac{x_i}{x_m} \right)^3 + 6 \left( \frac{x_i}{x_m} \right)^2 ;$$

$$\text{при } 1 < \left( \frac{x_i}{x_m} \right) \leq 8 \quad S_i = \frac{1,13}{0,13 \left( \frac{x_i}{x_m} \right)^2 + 1} ;$$

$$\text{при } \left( \frac{x_i}{x_m} \right) > 8 \quad S_i = \frac{\frac{x_i}{x_m}}{3,58 \left( \frac{x_i}{x_m} \right)^2 - 35,2 \left( \frac{x_i}{x_m} \right) + 120} .$$

5. По найденным координатам, сведенным в табл. 3.6, построим график зависимости  $C = f(x)$  (рис. .

**Таблица 3.6 – Расчетные данные для построения графика  $C = f(x)$**

$i$	$i = м$	$i = 1$	$i = 2$	$i = 3$	$i = 4$	$i = 5$
$x$						
$C$						

6. Далее нанесем на ось ординат значение ПДК пыли в атмосферном воздухе населенных мест, равную  $0,15 \text{ мг/м}^3$  и из этой точки проведем прямую, параллельную оси абсцисс до ее пересечения с нисходящей ветвью графика (см. рис. 3.1). Из точки пересечения опустим перпендикуляр на ось абсцисс. Полученное значение  $x_{сзз}$  будет являться минимальным размером СЗЗ предприятия, так как санитарная защитная зона – это расстояние от источника выброса до места, где концентрация вредного вещества не превышает ПДК.

7. Класс опасности предприятия определяется в зависимости от размера СЗЗ предприятия в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200–03.

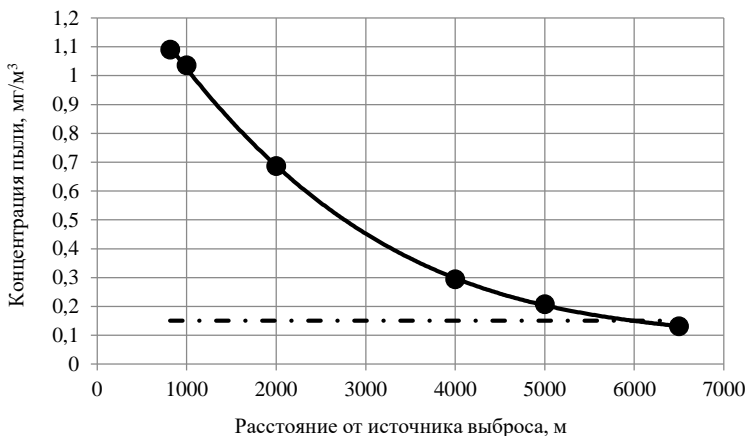


Рис. 3.1. Пример построения графика для определения минимального размера СЗЗ предприятия

#### *Контрольные вопросы*

1. Дайте определение СЗЗ.
2. Какой нормативный документ регламентирует требования к СЗЗ?
3. Какие установлены минимальные размеры СЗЗ для предприятий различного класса опасности?
4. Какие требования предъявляются к устройству СЗЗ?
5. Исходя из каких критериев выбираются растения для озеленения СЗЗ? Какие из них являются наиболее устойчивыми к техногенному воздействию?

### 3.5 ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ЗВУКОИЗОЛИРУЮЩЕГО КОЖУХА

Применение звукоизолирующих кожухов является эффективным, сравнительно простым и дешевым методом снижения шума на рабочих местах. Для получения максимальной эффективности кожухи должны полностью закрывать станок (агрегат, механизм и т.п.). Конструктивно звукоизолирующие кожухи выполняют съемными, раздвижными или капотного типа; сплошными герметичными или неоднородными (со смотровыми окнами, открывающимися дверцами, проемами для ввода коммуникаций и циркуляции воздуха (рис. 3.2).

Кожухи изготавливают из негорючих или трудногорючих

листовых материалов (например, сталь, дюралюминий и др.). Внутренние поверхности стенок кожухов должны быть облицованы звукопоглощающими материалами, а сам кожух изолирован от вибрации основания. В случае передачи вибрации от станка на кожух, его стенки необходимо покрывать снаружи слоем вибродемпфирующего материала. Отверстия для ввода коммуникаций или циркуляции воздуха должны быть оборудованы глушителями шума.

*Акустический эффект звукоизоляционной установки* – это снижение уровня звуковой мощности, шума, излучаемого источником в окружающее пространство, в результате установки звукоизолирующего кожуха.

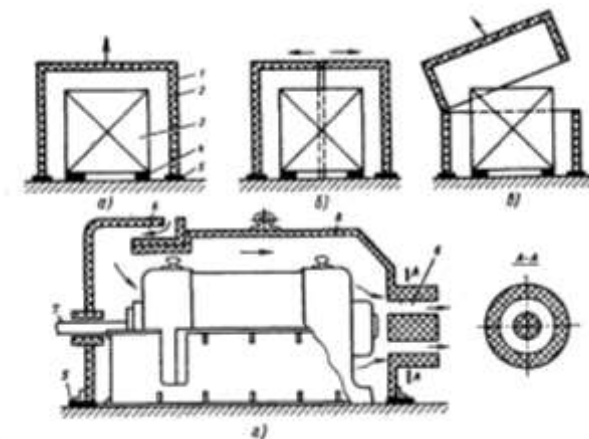


Рис. 3.2. Схемы звукоизолирующих кожухов: а – съемного; б – раздвижного; в – капотного типа; г – неоднородной конструкции (1 – стенка кожуха; 2 – звукопоглощающая прокладка; 3 – станок; 4 – виброизолирующие опоры станка; 5 – виброизолирующие прокладки; 6, 7 – глушители; 8 – перфорированный лист или сетка)

Для сплошного герметичного кожуха требуемая звукоизоляция определяется за счет звукоизоляции стенок. Для облицовки используют такие звукопоглощающие материалы, как минераловатные плиты, маты из супертонкого стекловолокна или базальтового волокна и др. толщиной не менее 30 мм. Обычно толщина звукопоглощающего слоя составляет около 50 мм. Звукопоглощающий слой должен быть закрыт стеклотканью и перфорированным металлическим листом (с коэффициентом перфорации не менее 20 %) или сеткой.

При использовании кожухов неоднородной конструкции акустический эффект ниже по сравнению с герметичными за счет

установки смотровых окон, дверец, отверстий для циркуляции воздуха и др. Поскольку звукоизоляция его элементов различна, акустический эффект определяется по средней величине звукоизоляции его граней, которая не должна быть ниже звукоизоляции сплошного кожуха с аналогичными параметрами.

Если кожух имеет отверстия для циркуляции воздуха или проведения коммуникаций, то в них должны быть установлены специальные кольцевые или щелевые глушители с акустической эффективностью не ниже требуемой звукоизоляции отверстия. Толщина звукопоглощающего слоя в глушителе составляет 50 мм.

В тех случаях, когда на кожух передается вибрация от изолируемого источника шума (например, вибростенда), кожух следует покрывать вибродемпфирующим материалом мастичного типа. Толщина такого покрытия должна в 4 – 6 раз превышать толщину стенки кожуха.

Кроме того, в промышленности широко применяются конструкции кожухов из сборных и модульных элементов, а также неразборные. Наиболее часто они применяются для снижения шума вентиляторов, воздуходувок, компрессоров и др. технологического оборудования.

Важным требованием к кожуху является также необходимость обеспечения безопасности и удобства работы на изолированном станке. Рабочие зоны изолированного технологического оборудования должны иметь безопасный и легкий доступ для обслуживания и ремонта. Необходимо также обеспечить возможность визуального контроля работы отдельных узлов и приборов машины.

### *Задание*

Подобрать материал для сплошного герметичного звукоизолирующего кожуха в форме параллелепипеда для источника шума, являющегося частью металлообрабатывающего станка.

### *Ход решения*

1. Требуемая величина снижения уровня звукового давления, дБ

$$\Delta L_i^{\text{треб}} = L_i - L_i^{\text{доп}},$$

где  $L_i$  – уровень звукового давления в  $i$ -й октавной полосе, дБ;  
 $L_i^{\text{доп}}$  – допустимые уровни звукового давления, дБ (табл. 3.7).

2. Требуемая звукоизолирующая способность стенок кожуха, дБ

$$R_i^{\text{тр.кож.}} = \Delta L_i^{\text{треб.}} + 10 \lg \frac{V_{\text{кож.}}}{V_{\text{ист}}},$$

где  $V_{\text{кож}}$  – объем тела, ограниченного поверхностью кожуха, м<sup>3</sup>;  
 $V_{\text{ист}}$  – объем тела, ограниченного воображаемой поверхностью, вплотную прилегающей к источнику шума, м<sup>3</sup>.

**Таблица 3.7 – Допустимые уровни звукового давления на рабочих местах производственных помещений**

Параметр	Октавные полосы частот, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$L_i^{\text{доп}}$ , дБ	99	92	86	83	80	78	76	74

3. Подобрать материал для кожуха по табл. В17 таким образом, чтобы его звукоизолирующая способность была для каждой октавной полосы больше требуемой, т.е.  $R_{\text{кож}} \geq R_{\text{тр.кож.}}$ .

4. Уровень шума в расчетной точке после установления кожуха на источник шума, дБ

$$L_i^{\text{кож}} = L_i - R_i^{\text{кож}} + 10 \lg \frac{V_{\text{кож}}}{V_{\text{ист}}},$$

где  $R_i^{\text{кож}}$  - табличное значение звукоизолирующей способности кожуха, дБ.

5. Свести результаты расчета в табл. 3.8 и показать их на графике, отложив по оси абсцисс октавные полосы частот в Гц, а по оси ординат – уровни звукового давления в дБ (аналогично рис. 3.3). На графике изобразить три кривые: 1 – уровни звукового давления шума, действующего на рабочего до проведения мероприятий по снижению уровня шума; 2 – нормативные значения уровней звукового давления; 3 – уровни звукового давления, действующего на рабочего после проведения шумозащитных мероприятий.

**Таблица 3.8 – Расчет акустической эффективности звукоизолирующего кожуха**

Величина	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$L_i$								
$\Delta L_i^{\text{тр.кож.}}$								
$R_i^{\text{тр.кож.}}$								
$R_i^{\text{кож.}}$								
$L_i^{\text{кож.}}$								

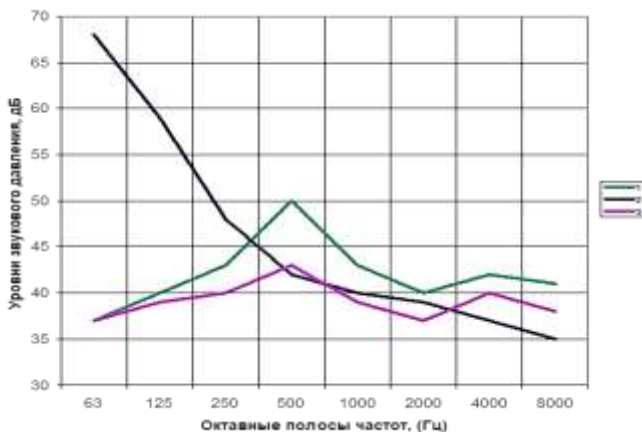


Рис. 3.3. Графическая зависимость уровня шума  
1 – уровни шума в цехе, 2 – нормативные значения уровня шума, 3 – уровень шума с использованием средств индивидуальной защиты

Размер источника шума -  ×  ×  м<sup>3</sup>;

Размеры кожуха -  ×  ×  м<sup>3</sup>.

Характеристика конструкции стен кожуха:

Материал \_\_\_\_\_;

Толщина стен кожуха \_\_\_\_\_.

### Контрольные вопросы

1. Укажите известные вам виды конструкций звукоизолирующих кожухов.
2. Из чего изготавливают звукоизолирующие кожухи?
3. Что такое акустический эффект звукоизоляции?
4. Как выполняется звукоизоляция стенок сплошного герметичного кожуха?
5. Какие элементы необходимы для обеспечения достаточной звукоизоляции кожуха неоднородной конструкции?

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Безопасность отрасли в техносфере: метод. указания к практическим занятиям по дисциплине «Безопасность отрасли в техносфере». В 4 ч. / Под общ. ред. проф. В.Л. Гапонова. — Ростов н/Д.: ДГТУ, 2014.
2. Еремина, Т. В., Тимофеева, И. Г., Гусева Н.И. Гигиена труда в основных отраслях промышленности: Методическое пособие / Т.В.

Еремина, И.Г. Тимофеева, Н.И. Гусева. -Улан-Удэ, Изд-во ВСГТУ, 2004.

3. Куклин, Н.Г. Детали машин: учебник / Н.Г. Куклин, [и др.] – 8-е изд., перераб. и доп. - М.: Высш. школа, 2008. - 406 с.

4. Детали машин и основы конструирования: метод. указания к выполнению расчетно-графических работ / Л.И. Маркус, [и др.]. – М.: МГУПБ, 2011. – 79 с.

5. Промышленная санитария: нормативно-справочные материалы и метод. указания к выполнению курсовой работы студентами 4-го курса специальности 280101 – «Безопасность жизнедеятельности в техносфере»/ Сост. В.Н. Ярыгин, О.А. Иванченкова.- Брянск: БГТА, 2007. - 44 с.

6. Экология города: учеб. пособие / под ред. В.В. Денисова. – М.: ИКЦ «МарТ», 2008. – 832 с.

7. Средства защиты в машиностроении. Расчет и проектирование: справочник / Под общ. ред. проф. С.В. Белова. – М.: Машиностроение, 2009. – 368 с.

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ НА РАСЧЕТ К РАЗДЕЛУ  
«БЕЗОПАСНОСТЬ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА»

**Таблица А1 – Исходные данные к расчету индукционной  
тигельной печи**

№ вар.	Производительность, т/ч	Загрузка, ч	Разгрузка, ч	Выплавляемый металл (сплав)
1	0,5	0,2	0,2	Сu
2	3	2,0	0,2	Сталь
3	5	3	0,2	Бронза
4	9	3,5	1,5	Чугун
5	14	4,0	1,5	Al
6	18	4,5	1,8	Сталь
7	20	4,6	2,0	Сu
8	0,5	2,0	1,5	Бронза
9	3	3,5	1,5	Сu
10	5	3	1,8	Al
11	9	2,0	0,2	Сталь
12	14	4,0	1,5	Al
13	18	4,5	1,8	Сu
14	20	4,6	1,5	Чугун
15	9	4,5	0,2	Сталь
16	5	0,2	1,8	Бронза
17	14	4,5	2,0	Al
18	3	0,2	2,0	Сu
19	0,5	4,5	2,0	Чугун
20	9	0,2	2,0	Сu
21	3	3,5	1,8	Бронза
22	9	4,5	0,2	Чугун
23	18	2,0	1,5	Сu
24	20	4,6	0,2	Al
25	14	3	1,5	Al

*Примечание.* Для всех вариантов принять напряжение питающего тока 10 кВ;  
частоту тока 50 Гц.



**Таблица А2 – Исходные данные к расчету индукционной  
канальной печи**

№ вар.	Охлаждение	Назначение	Производительность, т/ч	Температура металла, подаваемого в печь, °С	Температура перегрева или плавки, °С
1	Вп	П ЖЧ	70	1350	200
2	В	Пл Zn	45	420	50
3	Вп	Пл Cu	55	1080	70
4	В	Пл Al	60	680	30
5	В	П ЖЧ	65	1400	150
6	Вп	Пл Zn	40	440	30
7	Вп	Пл Al	40	30	Темпер. плавления
8	В	Пл Cu	60	30	Темпер. плавления
9	В	П ЖЧ	55	1400	150
10	В	Пл Cu	40	1100	50
11	Вп	Пл Al	55	680	50
12	Вп	П ЖЧ	60	1450	100
13	В	Пл Zn	50	30	Темпер. плавления
14	В	Пл Cu	45	1100	60
15	В	П ЖЧ	55	1300	200
16	Вп	Пл Al	45	50	Темпер. плавления
17	В	Пл Zn	55	440	40
18	В	Пл Cu	50	1080	80
19	Вп	П ЖЧ	40	1400	150
20	В	Пл Al	65	660	40
21	Вп	Пл Zn	60	420	50
22	В	Пл Cu	40	50	Темпер. плавления
23	Вп	Пл Al	70	670	40
24	Вп	Пл Cu	60	50	Темпер. плавления
25	Вп	П ЖЧ	70	1300	100

*Примечания:* 1. Вп – воздушное принудительное охлаждение; В – водяное охлаждение; П – перегрев; Пл – плавка; ЖЧ – жидкий чугун. 2. Напряжение питающей сети принять равным 6 кВ. 3. Частота питающей сети 50 Гц. 4.  $\cos\varphi$  для Zn и Cu принимать такими же, как для Al.

**Таблица А3 – Исходные данные для расчета электродуговой печи  
для выплавки стали**

№ вар.	Емкость, т	Производительность, т/ч	№ вар.	Емкость, т	Производительность, т/ч
1	5	5	14	15	15
2	7	10	15	10	17,5
3	10	15	16	10	20
4	12	17,5	17	12	5
5	15	20	18	12	10
6	10	5	19	10	12,5
7	5	10	20	5	15
8	7	15	21	20	17,5
9	15	17,5	22	7	20
10	12	20	23	12	12,5
11	7	5	24	20	10
12	10	10	25	7	17,5
13	5	12,5	-	-	-

# ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ НА РАСЧЕТ И СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ К РАЗДЕЛУ «БЕЗОПАСНОСТЬ СБОРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА»

**Таблица Б1 – Исходные данные к расчету заклепочного соединения**

№ вар	Сила $F$ , кН	Материал заклепок	Материал полосы	Толщина полосы $\delta$ , мм	Вид нагружения	Способ изготовления отверстий	Вид клепки
1	55	Ст2	Ст3	6	Пост.	Сверление	Горяч.
2	40	Ст3	Ст2	5	Перем.	Сверление	Холодн.
3	35	Ст2	Ст3	5	Пост.	Сверление	Холодн.
4	45	Ст3	Ст3	5	Перем.	Сверление	Холодн.
5	50	Ст3	Ст2	6	Пост.	Сверление	Горяч.
6	20	Ст2	Ст3	4	Перем.	Продавливание	Холодн.
7	45	Ст3	Ст2	5	Пост.	Сверление	Холодн.
8	25	Ст2	Ст3	5	Перем.	Продавливание	Холодн.
9	30	Ст3	Ст2	5	Пост.	Сверление	Холодн.
10	35	Ст2	Ст3	5	Перем.	Сверление	Холодн.
11	40	Ст3	Ст2	6	Пост.	Сверление	Горяч.
12	55	Ст3	Ст3	6	Перем.	Сверление	Горяч.
13	50	Ст2	Ст3	6	Пост.	Сверление	Горяч.
14	45	Ст3	Ст2	5	Перем.	Сверление	Холодн.
15	30	Ст3	Ст3	4	Пост.	Продавливание	Холодн.
16	35	Ст2	Ст3	5	Перем.	Сверление	Холодн.
17	45	Ст3	Ст3	5	Пост.	Сверление	Холодн.
18	55	Ст2	Ст2	6	Перем.	Сверление	Горяч.
19	40	Ст3	Ст3	6	Пост.	Сверление	Горяч.
20	55	Ст2	Ст3	4	Перем.	Сверление	Горяч.
21	40	Ст3	Ст2	6	Пост.	Сверление	Холодн.
22	35	Ст2	Ст3	6	Перем.	Сверление	Холодн.
23	45	Ст3	Ст3	4	Пост.	Сверление	Холодн.
24	50	Ст3	Ст2	5	Перем.	Сверление	Горяч.
25	20	Ст2	Ст3	5	Пост.	Продавливание	Холодн.

**Таблица Б2 – Исходные данные к расчету резьбового соединения**

№ вар.	Число винтов $z$	$Fa$ , кН	Класс прочности винтов	Материал винтов
1	4	14	3.6	Ст3кп
2	6	55	8.8	Ст35
3	4	18	4.8	Ст10кп
4	4	10	6.6	Ст45
5	6	60	6.8	Ст20
6	4	8	4.6	Ст20кп
7	4	12	3.6	Ст3сп
8	4	12	4.8	Ст10
9	4	17	4.6	Ст20
10	6	48	4.8	Ст10кп
11	4	14	6.6	Ст35
12	6	50	10.9	Ст40Х
13	4	10	6.8	Ст20
14	4	17,5	4.6	Ст30
15	4	10	5.8	Ст10
16	4	18	4.6	Ст20
17	4	16	5.6	Ст30
18	4	8	4.6	Ст20
19	4	18,5	4.8	Ст10
20	4	15	3.6	Ст3кп
21	6	50	8.8	Ст35
22	4	17	4.8	Ст10
23	4	10	6.6	Ст45
24	6	55	6.8	Ст20
25	4	10	4.6	Ст20

**Таблица Б3 – Исходные данные к расчету параметров локальной вибрации**

№ вар.	Скорость вибрации, $\text{мс}^{-1}$ в октавных полосах частот, Гц								$\eta_{\Sigma}$
	16	32	63	125	250	500	1000	2000	
1	$7 \cdot 10^{-3}$	$9 \cdot 10^{-3}$	$25 \cdot 10^{-3}$	$80 \cdot 10^{-3}$	$30 \cdot 10^{-3}$	$18 \cdot 10^{-3}$	$15 \cdot 10^{-3}$	$12 \cdot 10^{-3}$	0,020
2	$9 \cdot 10^{-3}$	$30 \cdot 10^{-3}$	$50 \cdot 10^{-3}$	$40 \cdot 10^{-3}$	$35 \cdot 10^{-3}$	$25 \cdot 10^{-3}$	$12 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	0,030
3	$10^{-2}$	$15 \cdot 10^{-3}$	$20 \cdot 10^{-3}$	$45 \cdot 10^{-3}$	$40 \cdot 10^{-3}$	$35 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	0,040
4	$13 \cdot 10^{-3}$	$20 \cdot 10^{-3}$	$40 \cdot 10^{-3}$	$50 \cdot 10^{-3}$	$35 \cdot 10^{-3}$	$15 \cdot 10^{-3}$	$10^{-3}$	$45 \cdot 10^{-3}$	0,050
5	$12 \cdot 10^{-3}$	$18 \cdot 10^{-3}$	$45 \cdot 10^{-3}$	$50 \cdot 10^{-3}$	$80 \cdot 10^{-3}$	$412 \cdot 10^{-3}$	$14 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	0,060
6	$5 \cdot 10^{-3}$	$10^{-2}$	$50 \cdot 10^{-3}$	$40 \cdot 10^{-3}$	$42 \cdot 10^{-3}$	$20 \cdot 10^{-3}$	$13 \cdot 10^{-3}$	$3,5 \cdot 10^{-3}$	0,015
7	$3 \cdot 10^{-3}$	$12 \cdot 10^{-3}$	$40 \cdot 10^{-3}$	$90 \cdot 10^{-3}$	$45 \cdot 10^{-3}$	$13 \cdot 10^{-3}$	$9 \cdot 10^{-3}$	$3,8 \cdot 10^{-3}$	0,025
8	$4 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$12 \cdot 10^{-3}$	$38 \cdot 10^{-3}$	$48 \cdot 10^{-3}$	$35 \cdot 10^{-3}$	$15 \cdot 10^{-3}$	$10^{-3}$	0,035
9	$15 \cdot 10^{-3}$	$20 \cdot 10^{-3}$	$50 \cdot 10^{-3}$	$50 \cdot 10^{-3}$	$28 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$0,8 \cdot 10^{-3}$	0,045
10	$17 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$170 \cdot 10^{-3}$	$35 \cdot 10^{-3}$	$15 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$0,6 \cdot 10^{-3}$	0,055
11	$12 \cdot 10^{-3}$	$19 \cdot 10^{-3}$	$21 \cdot 10^{-3}$	$85 \cdot 10^{-3}$	$50 \cdot 10^{-3}$	$38 \cdot 10^{-3}$	$10^{-3}$	$24 \cdot 10^{-3}$	0,020
12	$15 \cdot 10^{-3}$	$29 \cdot 10^{-3}$	$15 \cdot 10^{-3}$	$40 \cdot 10^{-3}$	$20 \cdot 10^{-3}$	$29 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-3}$	$13 \cdot 10^{-3}$	0,020
13	$17 \cdot 10^{-3}$	$10 \cdot 10^{-3}$	$30 \cdot 10^{-3}$	$80 \cdot 10^{-3}$	$45 \cdot 10^{-3}$	$18 \cdot 10^{-3}$	$16 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	0,030
14	$22 \cdot 10^{-3}$	$35 \cdot 10^{-3}$	$50 \cdot 10^{-3}$	$55 \cdot 10^{-3}$	$49 \cdot 10^{-3}$	$25 \cdot 10^{-3}$	$14 \cdot 10^{-3}$	$12 \cdot 10^{-3}$	0,040
15	$21 \cdot 10^{-3}$	$12 \cdot 10^{-3}$	$45 \cdot 10^{-3}$	$40 \cdot 10^{-3}$	$18 \cdot 10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$46 \cdot 10^{-3}$	0,050
16	$20 \cdot 10^{-3}$	$28 \cdot 10^{-3}$	$40 \cdot 10^{-3}$	$64 \cdot 10^{-3}$	$70 \cdot 10^{-3}$	$370 \cdot 10^{-3}$	$19 \cdot 10^{-3}$	$7,5 \cdot 10^{-3}$	0,060
17	$35 \cdot 10^{-3}$	$10^{-2}$	$30 \cdot 10^{-3}$	$30 \cdot 10^{-3}$	$32 \cdot 10^{-3}$	$28 \cdot 10^{-3}$	$23 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$	0,015
18	$23 \cdot 10^{-3}$	$14 \cdot 10^{-3}$	$50 \cdot 10^{-3}$	$82 \cdot 10^{-3}$	$38 \cdot 10^{-3}$	$42 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-3}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	0,025
19	$14 \cdot 10^{-3}$	$23 \cdot 10^{-3}$	$65 \cdot 10^{-3}$	$39 \cdot 10^{-3}$	$45 \cdot 10^{-3}$	$14 \cdot 10^{-3}$	$13 \cdot 10^{-3}$	$10^{-3}$	0,035
20	$17 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-3}$	$12 \cdot 10^{-3}$	$55 \cdot 10^{-3}$	$32 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$0,75 \cdot 10^{-3}$	0,045
21	$19 \cdot 10^{-3}$	$14 \cdot 10^{-3}$	$150 \cdot 10^{-3}$	$30 \cdot 10^{-3}$	$25 \cdot 10^{-3}$	$12 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$0,5 \cdot 10^{-3}$	0,055
22	$16 \cdot 10^{-3}$	$39 \cdot 10^{-3}$	$28 \cdot 10^{-3}$	$80 \cdot 10^{-3}$	$15 \cdot 10^{-3}$	$9 \cdot 10^{-3}$	$10^{-2}$	$28 \cdot 10^{-3}$	0,020
23	$27 \cdot 10^{-3}$	$19 \cdot 10^{-3}$	$15 \cdot 10^{-3}$	$75 \cdot 10^{-3}$	$50 \cdot 10^{-3}$	$38 \cdot 10^{-3}$	$25 \cdot 10^{-3}$	$32 \cdot 10^{-3}$	0,020
24	$11 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$54 \cdot 10^{-3}$	$35 \cdot 10^{-3}$	$64 \cdot 10^{-3}$	$45 \cdot 10^{-3}$	$13 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	0,030
25	$10^{-2}$	$25 \cdot 10^{-3}$	$19 \cdot 10^{-3}$	$40 \cdot 10^{-3}$	$42 \cdot 10^{-3}$	$15 \cdot 10^{-3}$	$9 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	0,040

**Таблица Б4 – Исходные данные к расчету посадок с натягом**

№ вар.	Крутящий момент $T$ , Н·м	Осевая сила $R_0$ , Н	Номинальный диаметр соединения $d_n$ , мм	Внутренний диаметр вала $d_1$ , мм	Наружный диаметр втулки $d_2$ , мм	Длина сопряжения $L$ , мм	Шероховатость $Ra$ , $10^{-6}$ м	
							втулки	вала
1	300	0	40	0	80	35	1,25	0,63
2	280	10	50	5	90	30	0,63	0,32
3	260	20	60	10	100	40	0,32	0,16
4	240	30	70	15	110	45	0,16	0,08
5	0	40	80	25	120	50	0,08	0,04
6	200	50	90	30	130	55	0,16	0,16
7	175	60	100	25	140	60	1,25	1,25
8	150	70	95	20	135	65	2,5	1,25
9	0	80	85	15	125	70	1,25	0,63
10	100	100	75	10	115	80	0,63	0,63
11	130	0	65	5	105	75	0,32	0,32
12	180	5	55	0	95	62,5	0,16	0,16
13	225	16	35	5	75	82	0,032	0,016
14	420	42	55	10	95	63	0,063	0,032
15	143	0	75	15	115	98	0,125	0,063
16	94	59	85	20	125	64	0,25	0,125
17	160	63	95	25	135	56	0,5	0,25
18	0	82	45	30	85	72	1	0,5
19	300	40	90	0	130	29	2	1
20	150	90	80	5	120	35	2,5	1,25
21	0	65	70	10	110	40	1,25	0,63
22	225	100	30	15	70	54	0,63	0,32
23	95	36	40	20	80	75	0,32	0,16
24	230	18	50	25	90	86	0,16	0,08
25	146	0	60	30	100	92	0,125	0,125

**Таблица Б5 – Числовые значения основных отклонений (для отверстий)**

Интервал размеров, мм		Основные отклонения											
		A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	Js <sup>1</sup>
		для всех квалитетов											
Св.	до	Нижнее отклонение <i>EI</i>											
30	40	+310	+170	+120	-	+80	+50	-	+25	-	+9	0	Предельные отклонения = $\pm IT/2$ , где <i>n</i> – порядковый номер квалитета
40	50	+320	+180	+130									
50	65	+340	+190	+140	-	+100	+60	-	+30	-	+10	0	
65	80	+360	+200	+150									
80	100	+380	+220	+170	-	+12	+72	-	+36	-	+12	0	
100	120	+410	+240	+180									

Продолжение табл. Б5

Интервал размеров, мм		Основные отклонения													
		J		K <sup>2</sup>		M <sup>2,3</sup>		N <sup>2</sup>		Р до ZC <sup>2</sup>		Р	Р	С	Т
		Для квалитетов										Для квалитетов свыше 7-го			
		6	7	8	До 8	Св. 8	До 8	Св. 8	До 8	Св. 8	До 7				
Св.	до	Верхнее отклонение ES													
30	40	+10	+14	+24	-2+Δ	-	-9+Δ	-9	-17+Δ	0	Отклонения для квалитета свыше 7-го, величенные на Δ	-26	-34	-43	-48
40	50														-54
50	65	+13	+18	+28	-2+Δ	-	-11+Δ	-11	-20+Δ	0		-32	-41	-53	-66
65	80														-75
80	100	+16	+22	+34	-3+Δ	-	-13+Δ	-13	-23+Δ	0		-37	-51	-71	-91
100	120														-104

Продолжение табл. Б5

Интервал размеров, мм		Основные отклонения								$\Delta$ , мм					
		U	V	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC						
		для квалитетов свыше 7-го								для квалитетов					
Св.	до	Верхнее отклонение $ES$								3	4	5	6	7	8
30	40	-60	-68	-80	-94	-112	-148	-200	-274	1,5	3	4	5	9	14
40	50	-70	-81	-97	-114	-136	-180	-242	-325						
50	65	-87	-102	-122	-144	-172	-226	-300	-405						
65	80	-102	-120	-146	-174	-210	-274	-360	-480	2	3	5	6	11	16
80	100	-124	-146	-178	-214	-258	-335	-445	-585						
100	120	-144	-172	-210	-254	-310	-400	-525	-690						

Таблица Б6 – Числовые значения основных отклонений (для валов)

Интервал размеров, мм		Основные отклонения																			
		a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	js <sup>1</sup>			i			k		
		для всех квалитетов												для квалитетов							
														5 и 6	7	8	От 4 до 7	До 3 и св. 7			
Св.	до	Верхнее отклонение <i>es</i>												Нижнее отклонение <i>ei</i>							
30	40	-310	-170	-120	-	-80	-50	-	-25	-	-9	0	Предельные отклонения $= \pm IT_n/2$ , где <i>n</i> – порядковый номер квалитета	-5	-10	-	+2	0			
40	50	-320	-180	-130		-	-	-	-	-	-	0		-7	-12	-	+2	0			
50	65	-340	-190	-140		-	-100	-60	-	-30	-	-10		0	-9	-15	-	+3	0		
65	80	-360	-200	-150		-	-	-	-	-	-	-		0	-	-	-	-	-		
80	100	-380	-220	-170	-	-120	-72	-	-36	-	-12	0		-	-	-	-	-			
100	120	-410	-240	-180		-	-	-	-	-	-	-		0	-	-	-	-	-		



Продолжение таблицы Б6

Интервал размеров, мм		Основные отклонения													
		m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc
		для всех квалитетов													
Св.	До	Нижнее отклонение $ei$													
30	40	+9	+17	+26	+34	+43	+48	+60	+68	+80	+94	+112	+148	+200	+274
40	50						+54	+70	+81	+97	+114	+136	+180	+242	+325
50	65	+11	+20	+32	+41	+53	+66	+87	+102	+122	+144	+172	+226	+300	+405
65	80						+75	+102	+120	+146	+174	+210	+274	+360	+480
80	100	+13	+23	+37	+51	+71	+91	+124	+146	+178	+214	+258	+335	+445	+585
100	120						+104	+144	+172	+210	+254	+310	+400	+525	+690

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ НА РАСЧЕТ И СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ  
К РАЗДЕЛУ «БЕЗОПАСНОСТЬ МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩЕГО  
ПРОИЗВОДСТВА»

**Таблица В1 – Исходные данные к расчету защитного ограждения  
металлообрабатывающего станка**

№ вар.	Параметры шлифовального круга			
	Внешний диаметр $D$ , м	Внутренний диаметр $d$ , м	Масса $m$ , кг	Окружная скорость $v$ , м/с
1	0,1	0,016	0,01	22
2	0,115	0,016	0,016	30
3	0,125	0,016	0,005	33
4	0,15	0,02	0,04	38
5	0,18	0,032	0,06	48
6	0,2	0,032	0,09	61
7	0,23	0,032	0,04	78
8	0,25	0,032	0,06	98
9	0,3	0,0508	0,005	20
10	0,32	0,0508	0,016	27
11	0,1	0,02	0,02	30
12	0,115	0,02	0,03	35
13	0,125	0,02	0,01	22
14	0,15	0,02	0,016	30
15	0,18	0,0508	0,005	33
16	0,2	0,0508	0,04	38
17	0,23	0,0762	0,06	48
18	0,25	0,0762	0,09	61
19	0,3	0,0762	0,04	78
20	0,32	0,0762	0,06	98
21	0,1	0,032	0,005	20
22	0,115	0,032	0,016	27
23	0,125	0,032	0,02	30
24	0,15	0,032	0,03	35
25	0,18	0,032	0,006	44

**Таблица В2 – Варианты задания на расчет эффекта суммации вредных веществ в рабочей зоне  
металлообрабатывающего цеха**

№ вар.	Вещество	C, мг/м <sup>3</sup>	№ вар.	Вещество	C, мг/м <sup>3</sup>	№ вар.	Вещество	C, мг/м <sup>3</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Акролеин	0,01	5	Этиловый спирт	150	9	Озон	0,01
	Дихлорэтан	4,0		Оксид углерода	15,0		Метиловый спирт	0,2
	Хлор	0,02		Озон	0,01		Ксилол	0,5
	Оксид углерода	10,0		Серная кислота	0,05		Азота диоксид	0,5
	Сернистый ангидрид	0,03		Соляная кислота	5,0		Формальдегид	0,01
	Хрома окись	0,1		Сернистый ангидрид	0,05		Толуол	0,5
2	Азота двуокись	0,04	6	Фенол	0,001	10	Ацетон	0,2
	Аммиак	0,5		Азота оксиды	0,1		Оксид углерода	15,0
	Хрома окись	0,2		Вольфрам	10		Кремния диоксид	0,2
	Сернистый ангидрид	0,5		Полипропилен	5,0		Фенол	0,003
	Ртуть	0,001		Ацетон	0,5		Формальдегид	0,02
	Акролеин	0,01		Формальдегид	0,02		Толуол	0,05
3	Азота двуокись	0,5	7	Акролеин	0,01	11	Оксиды азота	0,1
	Ацетон	0,2		Дихлорэтан	5,0		Оксиды алюминия	5,0
	Бензол	0,05		Озон	0,01		Формальдегид	0,02
	Фенол	0,01		Оксид углерода	15		Винилацетат	0,1
	Оксид углерода	10,0		Формальдегид	0,02		Бензол	0,05
	Винилацетат	0,1		Вольфрам	4,0		Фенол	0,005
4	Серная кислота	0,5	8	Аммиак	0,01	12	Аммиак	0,001
	Азотная кислота	0,5		Ацетон	150		Оксид азота (II)	0,1
	Кремния диоксид	0,2		Бензол	0,05		Вольфрам	4,0
	Фенол	0,01		Озон	0,001		Оксид алюминия	5,0
	Ацетон	0,2		Дихлорэтан	5,0		Оксид углерода	5,0
	Озон	0,001		Фенол	0,5		Фенол	0,01

Продолжение табл. В2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
13	Оксид азота (IV)	0,1	17	Оксид углерода	10,0	21	Оксид углерода	22
	Оксид алюминия	5,0		Диоксид азота	1,0		Вольфрамовый ангидрид	5,8
	Фенол	0,01		Формальдегид	0,02		Аэрозоль пятиокиси ванадия	0,1
	Бензол	0,05		Акролеин	0,01		Цемент (пыль)	7
	Формальдегид	0,01		Дихлорэтан	0,5		Озон	0,2
14	Винилацетат	0,1	18	Озон	0,02	22	Полипропилен	11
	Оксид углерода	10		Аммиак	0,05		Бензол	5,5
	Этилендиамин	0,1		Оксиды азота	0,1		Оксид углерода	3
	Аммиак	0,1		Оксид углерода	15,0		Оксид хрома	0,9
	Диоксид азота	5,0		Фенол	0,005		Этилендиамин	2
	Ацетон	100		Вольфрам	4,0		Цемент (пыль)	6
15	Бензол	0,05	19	Оксид алюминия	3,0	23	Формальдегид	0,4
	Азотная кислота	0,5		Аммиак	0,5		Ацетон	150
	Толуол	0,6		Диоксид азота	1,0		Фенол	0,3
	Винилацетат	0,15		Вольфрамовый ангидрид	5,0		Формальдегид	0,4
	Оксид углерода	10,0		Триоксид хрома	0,2		Цемент (пыль)	2
	Оксид алюминия	10,0		Озон	0,001		Кремния диоксид	0,8
	Гексан	0,01		Дихлорэтан	5,0		Серная кислота	0,8
16	Акролеин	0,01	20	Ацетон	0,3	24	Оксид углерода	2,0
	Дихлорэтан	5,0		Фенол	0,003		Цемент (пыль)	5,0
	Хлор	0,01		Формальдегид	0,02		Формальдегид	0,4
	Триоксид хрома	0,1		Полипропилен	8,0		Аэрозоль пятиокиси ванадия	0,1
	Ксилол	0,3		Толуол	0,7		Сернистый ангидрид	5
	Ацетон	0,1		Винилацетат	0,15		Оксид хрома	1,0

**Таблица ВЗ – Требования к содержанию вредных веществ в  
воздухе рабочей зоны**

Наименование вещества	ПДК, мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности	Особенности воздействия
Азота диоксид (NO <sub>2</sub> )	2	2	Рефл. (О, Р)
Азота оксиды (в пересчете на NO <sub>2</sub> )	5	3	Рефл. (О, Р)
Азотная кислота	2	2	Рефл.-рез.
Акролеин	0,2	3	Не указано
Алюминий и его соединения (в пересчете на алюминий)	6	3	Ф
Аммиак	20	4	Р (Рефл.-рез.)
Ацетон	200	4	Рефл.
Аэрозоль пятиоксида ванадия	0,1	1	Рез.
Бензол	5	2	Рез. (К, Репр.)
Винилацетат	10	3	Рез. (К)
Вольфрам	6	3	Рефл. (Ф)
Вольфрамовый ангидрид	6	3	Ф
Дихлорэтан	10	2	Не указано
Кремний двуокись	1	3	Рез. (Ф)
Ксилол	50	3	Не указано
Метиловый спирт	5	3	Рефл.
Озон	0,1	1	Рез. (О)
Полипропилен	10	3	Рефл.
Ртуть	0,01... 0,005	1	Рез. (Репр.)
Серная кислота	1	2	Рефл.-рез.
Сернистый ангидрид	10	3	Рефл.-рез.
Сода кальцинированная	2	3	Не указано
Соляная кислота	5	1	Рез.
Толуол	50	3	Не указано
Углерода оксид	20	4	Рез. (О, Репр.)
Фенол	0,3	2	Рефл.-рез. (О, А)
Формальдегид	0,5	2	О, Р, А, Репр.
Гексан	300	4	Не указано
Хлор	1	2	Рефл.-рез. (О) Р
Хрома оксид	1	3	А
Хрома триоксид	0,01	1	Рез. (К, А)
Этилендиамин	2	3	Рефл.
Этиленовый спирт	1000	4	Рефл.
Цементная пыль	6	4	Ф

*Примечание.* Особенности воздействия на организм человека в столбце 4 расшифровываются следующим образом: А – вещества, способные вызвать аллергическую реакцию в производственных условиях; К – канцерогены; О, Р – вещества с остронаправленным (О) и раздражающим (Р) механизмом воздействия; А – аэрозоли преимущественно фиброгенного действия; Репр. – опасны для репродуктивного здоровья человека

**Таблица В4 – Вредные вещества, обладающие эффектом суммации**

№ п/п	Группы веществ	№ п/п	Группы веществ
1	Азота диоксид и оксид, мазутная зола, серы диоксид	27	Изопропилбензол и гидроперекись изопропилбензола
2	Аммиак, сероводород, формальдегид	28	Изобутилкарбинол и диметилвинилкарбинол
3	Аммиак, формальдегид	29	Метилгидропиран и метилентетрагидропиран
4	Аммиак, сероводород	30	Моно, ди- и трипропиламины
5	Азота диоксид, гексан, углерода оксид, формальдегид	31	Мышьяковистый ангидрид и свинца ацетат
6	Азота диоксид, гексан, серы диоксид, углерода оксид	32	Мышьяковистый ангидрид и германий
7	Азота диоксид, серы диоксид	33	Озон, диоксид азота и формальдегид
8	Азота диоксид, серы диоксид, углерода оксид, фенол	34	Пропионовая кислота и пропионовый альдегид
9	Акриловая и метакриловая кислоты	35	Свинца оксид, серы диоксид
10	Акриловая и метакриловая кислоты, бутилакрилат, бутлиметакрилат, металакрилат, метиметакрилат	36	Серы диоксид, углерода оксид, фенол и пыль конверторного производства
11	Ацетальдегид, винилацетат	37	Сероводород, формальдегид
12	Ацетон, акролеин, фталевый ангидрид	38	Сернокислые медь, кобальт, никель, серы диоксид
13	Ацетон, фенол	39	Серы диоксид, кислота серная
14	Ацетон, фурфурол, формальдегид и фенол	40	Серы диоксид, никель металлический
15	Ацетон, ацетофенон	41	Серы диоксид, сероводород
16	Ацетон, трикрезол, фенол	42	Сероводород и дивинил
17	Ацетофенон, фенол	43	Серы диоксид, фенол
18	Аэрозоли пятиокси ванадия и оксидов марганца	44	Серы диоксид, фтористый водород
19	Аэрозоли пятиокси ванадия и сернистый ангидрид	45	Серы диоксид и триоксид серы, аммиак и оксиды азота
20	Аэрозоли пятиокси ванадия и трехокси хрома	46	Сильные минеральные кислоты (серная, соляная и азотная)
21	Бензол и ацетофенон	47	Этилен, пропилен, бутилен и амилен
22	Валериановая, капроновая и масляная кислоты	48	Уксусная кислота и уксусный ангидрид
23	Вольфрамовый и сернистый ангидриды	49	Уксусная кислота, фенол, этилацетат
24	Гексахлоран и фозалон	50	Циклогексан и бензол
25	2,3-Дихлор-1,4-нафтахинон и 1,4-нафтахинон	51	Фурфурол, метиловый и этиловый спирты
26	1,2-Дихлорпропан, 1,2,3-Трихлорпропан и тетрахлорэтилен	52	Углерода оксид и пыль цементного производства

**Таблица В5 – Рекомендации к проведению оценки класса  
вредности условий труда**

Значение <i>K</i>	Область применения	Класс вредности	Краткая характеристика возможных последствий для здоровья
≤ 1	Вещества любой направленности действия	1 (Оптималь- ные) или 2 (Допусти- мые)	Возможные негативные изменения в организме восстанавливаются к началу следующего рабочего дня и не оказывают негативного воздействия на работника или его потомство.
1,1 - 2		3.1 (Вредные)	Отклонения от нормы могут вызвать функциональные изменения, которые могут восстановиться при отдыхе, превышающем время до начала следующей смены (т.е. имеется некоторый риск для здоровья).
2,1 - 10	Вещества 1 – 4 классов опасности, за исключением (К), (Репр.), (А), (О), (Р)	3.2 (Вредные)	Отклонения от нормы могут вызвать стойкие функциональные изменения (повышается уровень профессионально обусловленной заболеваемости с временной утратой трудоспособности), особенно после 15 лет работы.
2,1 – 5	(К), (Репр.), (А), (О), (Р)	3.2 (Вредные)	Отклонения от нормы могут вызвать стойкие функциональные изменения (повышается уровень профессионально обусловленной заболеваемости с временной утратой трудоспособности), особенно после 15 лет работы.
10,1 – 15	Вещества 1 – 4 классов опасности, за исключением (К), (Репр.), (А), (О), (Р)	3.3 (Вредные)	Отклонения от нормы могут вызвать развитие профессиональных болезней легкой и средней степени и рост профессиональной хронической патологии.
5,1 - 10	(К), (Репр.), (А), (О), (Р)		
15,1 – 20 (и более)	Вещества 1 – 4 классов опасности, за исключением (К), (Репр.), (А), (О), (Р)	3.4 (Вредные)	Отклонения от нормы могут вызвать тяжелые формы профессиональных заболеваний и высокий уровень заболеваемости с временной утратой трудоспособности.
10,1 - 50	(К), (Репр.), (А), (О), (Р)		

**Таблица В6 – Варианты задания на расчет общеобменной  
вентиляции**

№ вар.	Деталь	Материал	Годовая программа, шт/год
1	Вал (рис. В1)	Сталь ХН62МВКЮ	12000
2	Вал (рис. В1)	Сталь ХН62МВКЮ	10500
3	Вал (рис. В1)	Сталь ХН62МВКЮ	11200
4	Вал (рис. В1)	Сталь ХН62МВКЮ	8000
5	Стопор (рис. В2)	Чугун АЧВ	8700
6	Стопор (рис. В2)	Чугун АЧВ	9500
7	Стопор (рис. В2)	Чугун АЧВ	10300
8	Планка (рис. В3)	Латунь ЛАЖМц 66-6-3-2	11000
9	Планка (рис. В3)	Латунь ЛАЖМц 66-6-3-2	9000
10	Планка (рис. В3)	Латунь ЛАЖМц 66-6-3-2	8900
11	Фланец (рис. В4)	Карболит ЖСП	10400
12	Фланец (рис. В4)	Карболит ЖСП	9800
13	Фланец (рис. В4)	Карболит ЖСП	11700
14	Кронштейн (рис. В5)	Сталь 40Х	8400
15	Кронштейн (рис. В5)	Сталь 40Х	10600
16	Кронштейн (рис. В5)	Сталь 40Х	11200
17	Зубчатое колесо (рис. В6)	Бронза БрАЖ9-4	11900
18	Зубчатое колесо (рис. В6)	Бронза БрАЖ9-4	12000
19	Зубчатое колесо (рис. В6)	Бронза БрАЖ9-4	11750
20	Вал (рис. В7)	Алюминиевый сплав АЛ9	9400
21	Вал (рис. В7)	Алюминиевый сплав АЛ9	8350
22	Вал (рис. В7)	Алюминиевый сплав АЛ9	9200
23	Шлицевой вал (рис. В8)	Сталь 20ХН2МА	11100
24	Шлицевой вал (рис. В8)	Сталь 20ХН2МА	10600
25	Шлицевой вал (рис. В8)	Сталь 20ХН2МА	8550
26	Шлицевой вал (рис. В8)	Сталь 20ХН2МА	11950



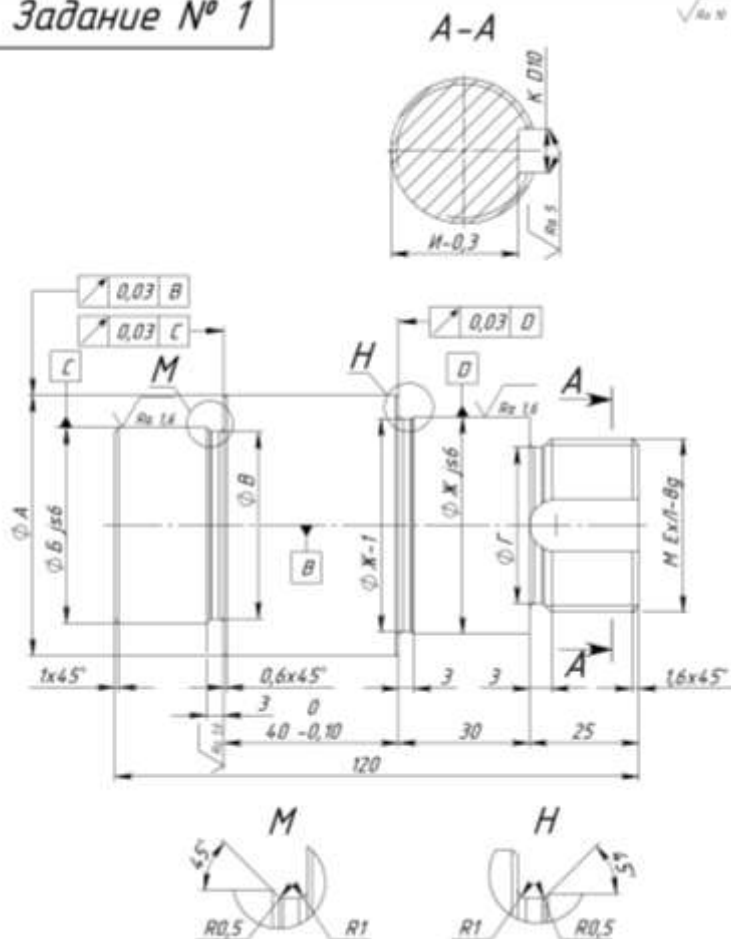


Рис. В1. Чертеж вала

**Таблица В7 – Маршрут обработки вала (см. рис. В1)**

Операция	Содержание или наименование операции	Станок, оборудова-ние	Машинное время, по вариантам, мин			
			1	2	3	4
005	Подрезать и центровать торец, выдерживая размер 121, точить шейку под резьбу М Е×Л-8г, шейку ØЖj,6 под шлифование, ØА, ØБj,6 под шлифование, проточить три канавки b=3; точить фаски	Токарный автомат 1Б240-6К	0,94	0,86	0,75	0,68
010	Подрезать второй торец, выдерживая размер 120 <sup>0,2</sup> , центровать торец и точить фаску	Токарный 16Т20П	1,2	1,1	0,98	0,92
015	Фрезеровать шпоночный паз b = К, выдерживая размер И окончательно	Шпоночно-фрезерный 6930	1,65	1,58	1,39	1,24
025	Накатать резьбу М Е×Л-8г	Резьбонакат-ный А9518	0,34	0,32	0,34	0,31
030	Шлифовать шейку ØБj,6 с подшлифовкой торца ØА/ØБj,6, выдерживая размер 25	Круглошли-фовальный 3У10В	1,12	1,06	1,24	1,14
035	Шлифовать шейку ØЖj,6 с подшлифовкой торца ØА/ØЖj,6, выдерживая размер 30 окончательно	Круглошли-фовальный 3У10В	1,1	1,06	1,15	1,12
040	Промыть деталь	Моечная машина	-	-	-	-
045	Навесить бирку с обозначением детали на тару	—	-	-	-	-
050	Технический контроль	Плита по ГОСТ 10905-86	-	-	-	-
055	Нанесение антикоррозионного покрытия	—	-	-	-	-

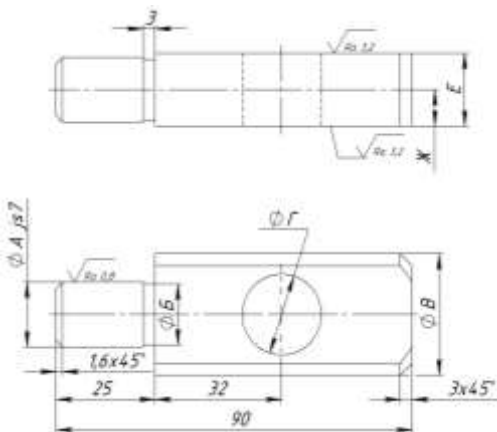


Рис. В2. Чертеж стопора

**Таблица В8 – Маршрут обработки стопора (см. рис. В2)**

Операция	Содержание или наименование операции	Станок, оборудование	Машинное время, по вариантам, мин		
			5	6	7
005	Точить шейки $\varnothing A_{j,7}$ под шлифование, шейку $\varnothing B$ , канавку $b=3$ , фаску, отрезать деталь, выдерживая размер 90	Токарный автомат 1Е14ОП	0,45	0,54	0,58
010	Подрезать второй торец, выдерживая размер 55, точить фаску	Токарный 16Т02П	0,44	0,48	0,53
015	Фрезеровать две лыски, выдерживая размер $E$	Вертикально-фрезерный 6Т10	1,1	1,12	1,16
020	Зачистить заусенцы	Вибрационная машина ВМПВ-100	0,12	0,16	0,18
025	Сверлить отверстие $\varnothing Г$ окончательно	Вертикально-сверильный 2Н125-1	0,38	0,44	0,52
030	Притупить острые кромки	Вибрационная машина ВМПВ-100	0,12	0,16	0,18
035	Шлифовать шейку $\varnothing A_{j,7}$ окончательно	Бесцентрово-шлифовальный 3М182	0,68	0,72	0,78
040	Промыть деталь	Машина моечная	-	-	-
045	Навесить бирку с обозначением	—	-	-	-
050	Технический контроль	Плита	-	-	-
055	Нанесение антикоррозионного покрытия	—	-	-	-

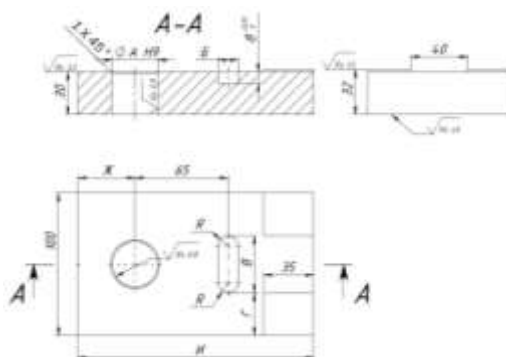
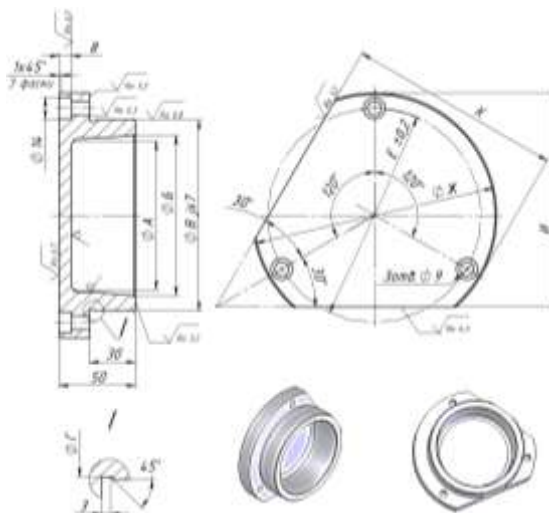


Рис. В3. Чертеж планки

**Таблица В9 – Маршрут обработки планки (см. рис. В3)**

Операция	Содержание или наименование операции	Станок, оборудование	Машинное время, по вариантам, мин		
			8	9	10
005	Навесить бирку с номером детали на тару		-	-	-
010	Фрезеровать две широкие поверхности в размер 32,3 под шлифование и две поверхности в размер 100 окончательно	Вертикально-фрезерный мод.6Т12	1,12	0,98	1,24
015	Фрезеровать два торца в размер и окончательно	Горизонтально-фрезерный 6Т82Г	0,65	0,65	0,65
020	Зачистить заусенцы после фрезерования	Машина для снятия заусенцев	0,12	0,1	0,16
025	Шлифовать две широкие поверхности в размер 32 окончательно	Плоскошлифовальный 3П722ДВ	1,24	0,16	1,35
030	Зачистить заусенцы и притупить острые кромки	Машина для снятия заусенцев	0,12	0,1	0,16
035	Фрезеровать два платика в размер 35×40×32 окончательно. Сверлить, расточить и развернуть одно отверстие ØАН9 окончательно, фрезеровать паз Б и $h = 8_{+0,5}$ окончательно	Расточно-сверлильно-фрезерный с ЧПУ мод.2254ВМФ4	2,15	2,05	2,28
040	Зачистить заусенцы	Машина для снятия заусенцев	0,12	0,1	0,16
045	Промыть деталь	Моечная машина	-	-	-
050	Технический контроль		-	-	-
055	Химическое оксидирование		-	-	-
060	Нанесение антикоррозионного покрытия		-	-	-



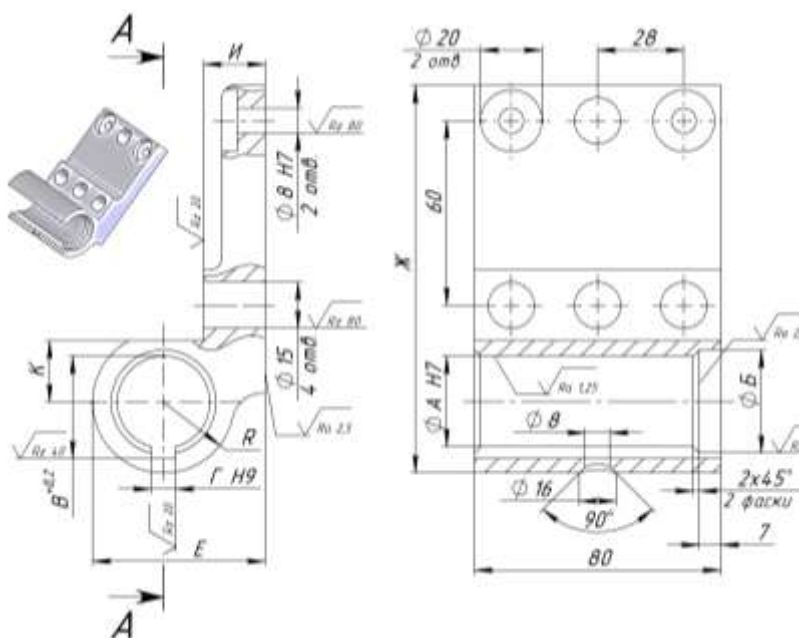


Рис. В5. Чертеж кронштейна

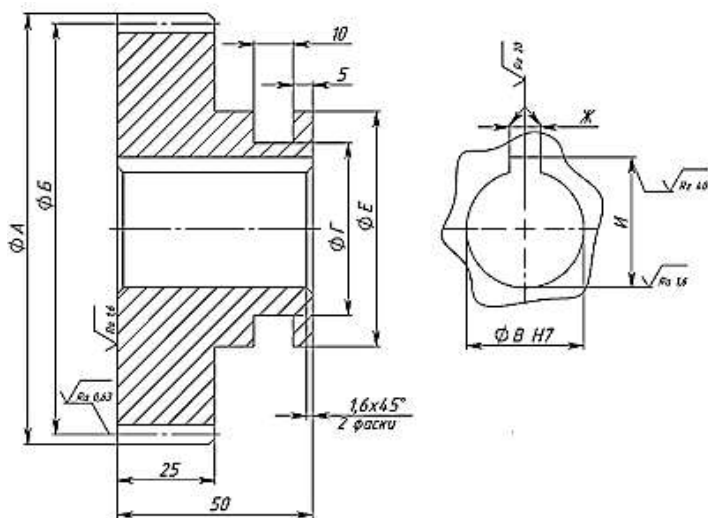


Рис. В6. Чертеж зубчатого колеса

**Таблица В11 – Маршрут обработки кронштейна (см. рис. В5)**

Операция	Содержание или наименование операции	Станок, оборудование	Машинное время, по вариантам, мин		
			14	15	16
005	Навесить бирку с номером детали на тару				
010	В первой позиции: фрезеровать плоскость прилегания в размеры Е и 80 окончательно. Сверлить четыре отверстия Ø11. Сверлить и развернуть два отверстия Ø8 до Ø8H7 технологически. Во второй позиции: фрезеровать уступ в размере И и К окончательно. Зенковать два отверстия до Ø20 окончательно. В третьей позиции: расточить отверстие ØАН7, выточку ØБ с пропиловкой торца ØАН7/ØБ окончательно	Расточно-сверлильно-фрезерный с ЧПУ и инструментальным магазином 2254ВМФ4	4,52	4,48	4,32
015	Зенковать фаску 1×45° в отверстиях ØАН7	Вертикально-сверлильный 2Н135-1	0,1	0,12	0,14
020	Протянуть паз b=ГН9 окончательно	Горизонтально-протяжной 7512	0,24	0,28	0,28
025	Притупить острые кромки	Машина для снятия заусенцев	0,1	0,12	0,14
030	Промыть деталь	Моечная машина	-	-	-
035	Технический контроль		-	-	-
040	Нанесение антикоррозионного покрытия		-	-	-

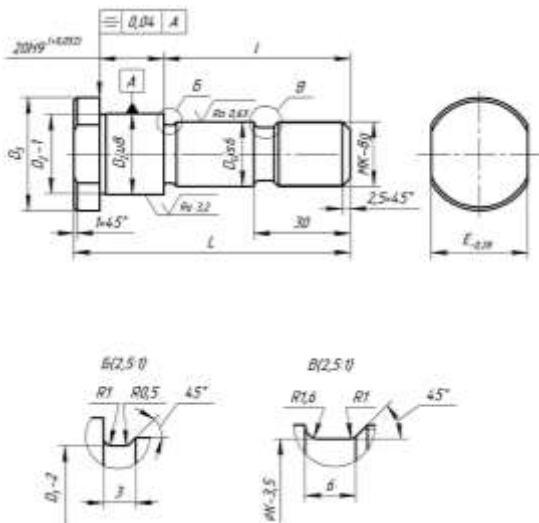


Рис. В7. Чертеж вала

**Таблица В12 – Маршрут обработки зубчатого колеса (см. рис. В6)**

Операция	Содержание или наименование операции	Станок, оборудование	Машинное время, по вариантам, мин		
			17	18	19
005	Подрезать торцы $\varnothing Ah11/\varnothing E$ и $\varnothing B2/\varnothing BH7$ предварительно. Обточить наружную поверхность $\varnothing E$ предварительно. Обработать отверстие $\varnothing BH7$ до $\varnothing B-2$ . Обточить и расточить фаски	Токарный с ЧПУ КТ141	2,12	2,24	2,38
010	Подрезать торец $\varnothing Ah11/\varnothing BH7$ предварительно. Обточить наружную поверхность $\varnothing Ah11$ предварительно. Обточить и расточить фаски и выточку $\varnothing \Gamma$	То же	1,65	1,72	1,82
015	Протянуть шпоночный паз	Протяжной 7512	0,35	0,35	0,35
020	Подрезать торец $\varnothing A h11/\varnothing E$ окончательно, 62 окончательно и торцы $\varnothing E/\varnothing BH7$ и $\varnothing Ah11/\varnothing BH7$ под шлифование. Обточить наружную поверхность $\varnothing E$ окончательно и поверхность $\varnothing Ah11$ под шлифование. Проточить паз = $10H11$ под шлифование. Обточить фаски	Токарный с ЧПУ КТ141	3,1	3,24	3,36
025	Технический контроль	—	-	-	-
030	Фрезеровать 44 зуба ( $m = 2,5$ ) под шлифование (по две детали)	Зубофрезерный 53A20B	3,68	4,12	4,35
035	Закруглить 44 зуба ( $m = 2,5$ ) окончательно	Зубозакругловочный полуавтомат 5E580	1,12	1,24	1,28
040	Зачистить заусенцы на торцах зубьев	Одношпиндельный полуавтомат для снятия фасок 5B525	0,2	0,24	0,26
045	Термическая обработка	—	-	-	-
050	Шлифовать наружную поверхность $\varnothing E h11$ и торец $\varnothing E h11/\varnothing BH7$ окончательно	Круглошлифовальный 3Т161Д	0,68	0,72	0,76
055	Шлифовать отверстие $\varnothing BH7$ и торец $\varnothing E/\varnothing BH7$ окончательно	Внутришлифовальный 3A227АФ2	1,46	1,48	1,52
060	Шлифовать торец $B = 10H11$ окончательно	Круглошлифовальный 3УШВМ	0,58	0,62	0,68
065	Шлифовать боковые стороны зубьев окончательно	Специальный	2,22	2,26	2,38
070	Шлифовать 44 зуба ( $m = 2,5$ ) окончательно	Зубошлифовальный 5B833	3,45	3,52	3,62
075	Промывать деталь	Моечная машина	-	-	-
080	Технический контроль	—	-	-	-



**Таблица В13 – Маршрут обработки вала (см. рис. В7)**

Опера- ция	Содержание или наименование операции	Станок, оборудование	Машинное время, по вариантам, мин		
			20	21	22
005	Рубить пруток $D_3$ , выдерживая размер 3000	Пресс К9534	-	-	-
010	Править пруток	Пресс И5529	-	-	-
015	Заправить концы прутка фасками под угол $20^\circ$	Токарный ХС-151	-	-	-
020	Подрезать и центровать торец, точить шейку под накатывание резьбы МК - 8g, точить шейки $D_{1j,6}$ до $(D_1+1,2)h_{12}$ и $D_{2u8}$ до $(D_2+1,2)h_{12}$ , канавки $b=3$ и $b=6$ ; точить $(D_1+1,2)h_{12}$ до $(D_1+0,4)h_9$ и $(D_2+1,2)h_{12}$ до $(D_2+0,4)h_9$ ; фаски, отрезать деталь, выдерживая размер $L$	Автомат токарный 1Е140П	0,82	0,88	0,95
025	Подрезать второй торец, выдерживая размер $8,3_{-0,1}$ , точить фаску и центровать торец	Токарный 16Т02П	0,64	0,72	0,81
030	Фрезеровать две лыски, выдерживая размер $E_{0,28}$ окончательно	Горизонтально - фрезерный 6Р80Ш	0,75	0,86	0,94
035	Зачистить заусенцы	Вибрационная машина ВМПВ-100	0,12	0,14	0,18
040	Накатать резьбу МК-8g окончательно	Резьбонакатный А9518	0,34	0,34	0,34
045	Термическая обработка	—	-	-	-
050	Шлифовать поверхность $D_{1j,6}$ окончательно	Круглошлифовальный 3У10В	0,44	0,44	0,44
055	Шлифовать поверхность $D_{2u8}$ с подшлифовкой торца $L/Du8$ , выдерживая размер 20Н9 окончательно	Круглошлифовальный 3У10В	0,44	0,46	0,48
060	Промыть деталь	Моечная машина	-	-	-
065	Навесить бирку с обозначением детали на тару	—	-	-	-
070	Технический контроль	Плита	-	-	-
075	Нанесение покрытия	—	-	-	-

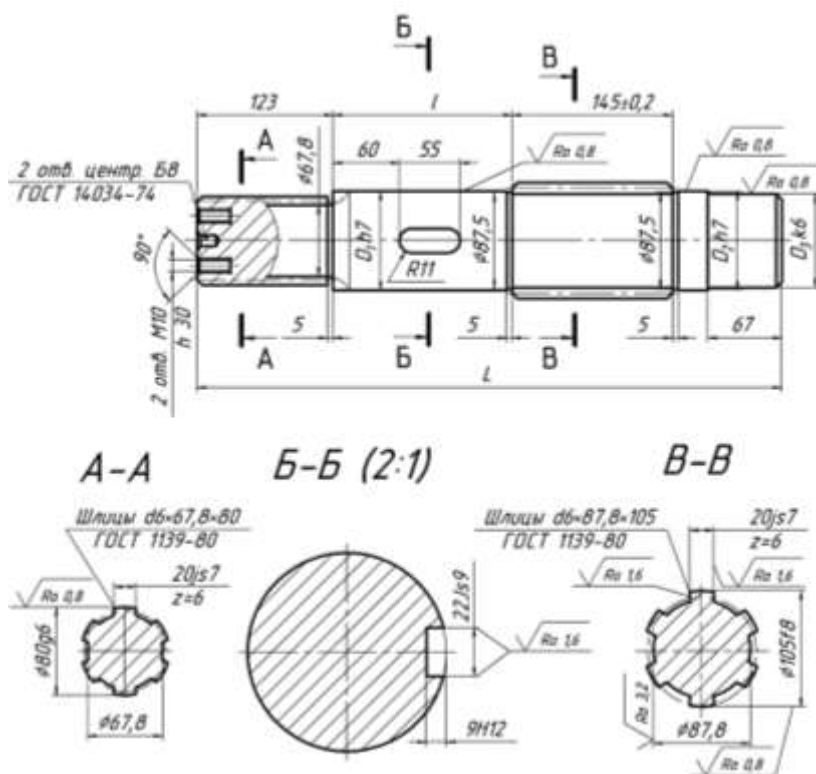


Рис. В8. Чертеж шлицевого вала

**Таблица В14 – Маршрут обработки шлицевого вала**

Опера- ция	Содержание или наименование операции	Станок, оборудование	Машинное время, по вариантам, мин			
			23	24	25	26
005	Отрезать заготовку	Фрезерно-отрезной	0,36	0,42	0,46	0,38
010	Термическая обработка	—	-	-	-	-
015	Фрезеровать торцы в размер $L \pm 0,2$ и центровать с двух сторон одновременно	Фрезерно-центровальный 2Г942	0,46	0,54	0,62	0,58
020	Точить: шейки $\varnothing 80g6$ до $\varnothing h12$ ; $D_1h7$ до $(D_1+2)h12$ и фаски	Токарный 16К20Ф3	3,26	3,45	3,58	3,32
025	Точить: шейки $D_3k6$ до $(D_3+2)h12$ ; $D_2h7$ до $(D_2+2)h12$ и фаски Точить: шейки 105f8 до $\varnothing 107h12$ ; $107h12$ до $\varnothing 105,5h9$ , фаски, точить $(D_3+2)h12$ до $(D_3+0,5)h9$ ; $(D_2+2)h12$ до $(D_2+0,5)h9$ ; проточить две канавки $B = 5$	Токарный 16К20Ф3	4,26	4,48	4,67	4,35
030	Точить: шейки $\varnothing 82h12$ до $\varnothing 80,5h9$ ; $(D_1+2)h12$ до $(D_1+0,5)h9$ ; фаски, канавки $B = 5$	Токарный 16К20Ф3	2,35	2,42	2,58	2,40
035	Фрезеровать шпоночный паз, выдерживая размеры 55 60, 22js9, 9H12	Шпоночно-фрезерный 6930	1,15	1,15	1,15	1,15
040	Обработать два резьбовых отверстия М10 на глубину 10	Радиально-сверлильный 2А554	0,64	0,64	0,64	0,64
045	Фрезеровать шесть шлицев в размер $20j_{ss}$ до $\varnothing 87,8$	Шлицефрезерный и горизонтальный полуавтомат 5А352ПФ2	1,48	1,48	1,48	1,48
050	Фрезеровать шесть шлицев в размер $20j_{ss}$ до $\varnothing 67,8$	То же	1,65	1,65	1,65	1,65
055	Зачистить заусенцы	Механизированный верстак	0,15	0,18	0,2	0,17
060	Шлифовать шейки $\varnothing 80g6$ , $D_1h7$ , $\varnothing 105f8$ ; торец	Круглошлифовальный 3М153ДФ2	2,24	2,42	2,56	2,35
065	Шлифовать шейки $D_3k6$ и $D_2h7$	То же	1,68	1,72	1,84	1,70
070	Промыть деталь	Моечная машина	-	-	-	-
075	Технический контроль	—	-	-	-	-
080	Нанесение антикоррозионного покрытия	—	-	-	-	-

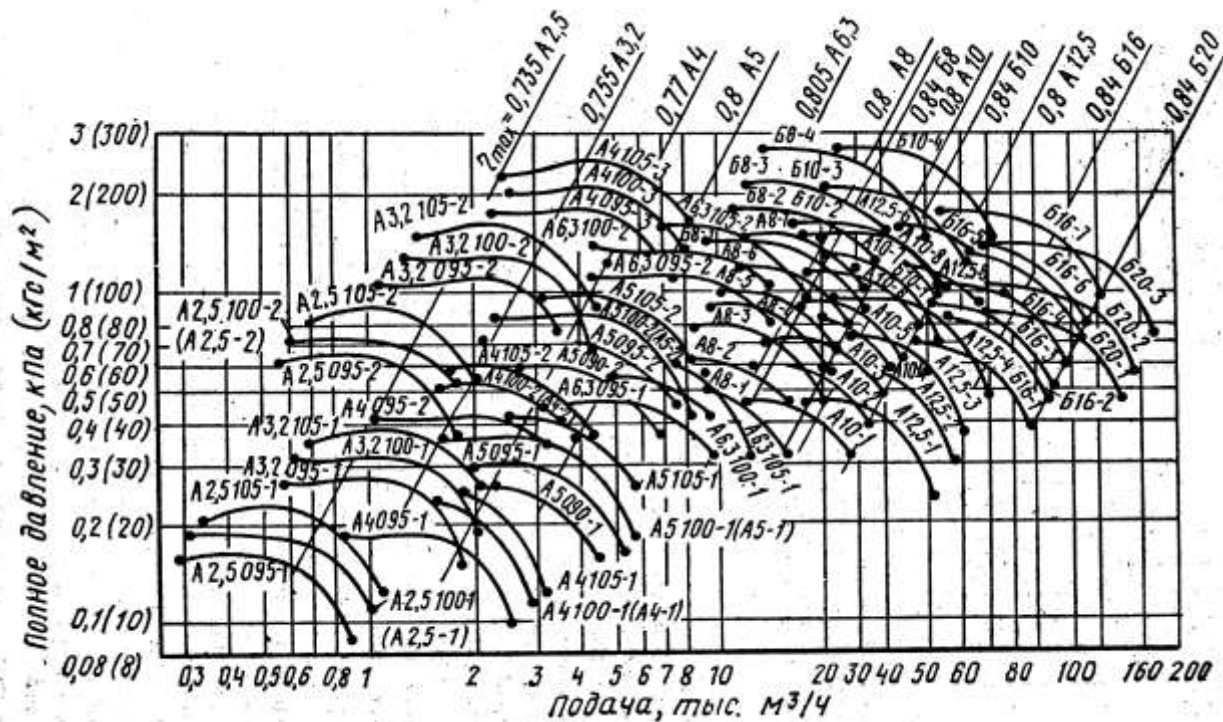


Рис. В9. Сводный график для подбора центробежных вентиляторов: А — типа Ц4-70; Б — типа Ц4-76

**Таблица В15 – Центробежные вентиляторы низкого давления Ц4-70 и Ц4-76 и комплектация их электродвигателями**

Обозначение для заказа	№ вентилятора	Частота вращения, об/мин	Диаметр колеса, % от номинального	Электродвигатели серии						Масса вентилятора (кг) с электродвигателем серии		
				АО и АО2			4А					
				тип	мощность, кВт	частота вращения, об/мин	тип	мощность, кВт	частота вращения, об/мин	АО2	4А	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Ц4-70 (исполнение 1)												
A2,5 095-1	2,5	Равна частоте вращения электродвигателя	95	АОЛ11-4	0,12	1400	4АА56А4	0,12	1370	27	26	
A2,5 095-2а				АОЛ22-2	0,6	2800	4АА53В2	0,55	2810	31	27	
A2,5 095-2б				АОЛ21-2	0,4	2800	4АА63А2	0,37	2810	30	28	
A2,5 100-1			100	АОЛ11-4	0,12	1400	4АА56А4	0,12	1370	27	26	
A2,5 100-2				АОЛ22-2	0,6	2800	4АА63В2	0,55	2810	32	28	
A2,5 105-1			105	АОЛ11-4	0,12	1400	4АА56А4	0,12	1370	27	26	
A2,5 105-2	АОЛ2-11-2			0,8	2815	4А71А2	0,75	2810	34	30		
A3,2 095-1	3,15 (3,2)		Равна частоте вращения электродвигателя	95	АОЛ21-4	0,27	1400	4АА63А4	0,25	1370	44	42
A3,2 095-3					АОЛ2-21-2	1,5	2850	4А80А2	1,5	2860	43	45
A3,2 100-1				100	АОЛ21-4	0,27	1400	4АА63А4	0,25	1370	46	42
A3,2 100-2а					АОЛ2-22-2	2,2	2850	4А80В2	2,2	2860	56	58
A3,2 100-2б					АОЛ2-21-2	1,5	2850	4А80А2	1,5	2860	54	59
A3,2 105-1		105		АОЛ22-4	0,4	1400	4АА63В4	0,37	1370	46	42	
A3,2 105-2				АОЛ22-2	2,2	2850	4А80В2	2,2	2860	57	57	

Продолжение таблицы В15

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
A4095-1	4	Равна частоте вращения электродвигателя	95	АОЛ2-11-6	0,4	935	4A71A6	0,37	920	80	84	
A4095-2				АОЛ2-11-4	0,6	1410	4A7A4	0,55	1370	82	86	
A4095-3				АОЛ2-32-2	4	2900	4A100SA2	4	2880	123	113	
A4100-1			100	АОЛ2-11-6	0,4	935	4A71A6	0,37	920	81	85	
A4100-2				АОЛ2-12-4	0,8	1410	4A71B6	0,75	1370	85	89	
A4100-3				АОЛ2-41-2	5,5	2900	4A100LB2	5,5	2880	134	112	
A4105-1			105	АОЛ2-11-2	0,4	935	4A71A6	0,37	920	81	85	
A4105-2				АОЛ2-21-4	1,1	1410	4A80A4	1,1	1400	85	83	
A4105-3				АОЛ2-42-2	7,5	2900	4A112MA2	7,5	2900	134	116	
A5090-1	5		90	АОЛ2-12-6	0,6	930	4A71B6	0,55	920	113	111	
A5090-2				АОЛ2-22-4	1,5	1420	4A80B4	1,5	1400	119	117	
A5095-1			95	АОЛ2-12-6	0,6	930	4A71B6	0,55	920	114	112	
A5095-2a				АОЛ-31-4	2,2	1420	4A90LA4	2,2	1420	127	113	
A5095-26				АОЛ-22-4	1,5	1420	4A80B4	1,5	1400	120	118	
A51002-1			100	АОЛ2-21-6	0,5	930	4A80A6	0,75	930	114	120	
A5100-2a				АОЛ-31-4	2,2	1420	4A90LA4	2,2	1420	128	114	
A5100-26				АОЛ2-22-4	1,5	1420	4A80B4	1,5	1420	120	118	
A5105-1			105	АОЛ2-21-6	0,8	930	4A80A6	0,75	930	118	120	
A5105-2a				АОЛ2-32-4	3	1420	4A100SA4	3	1425	134	124	
A5105-26				АОЛ2-31-4	2,2	1420	4A90LA6	3,2	1420	129	115	
A6,3 095-1			6,3	95	АО2-31-6	1,5	930	4A90LA6	1,5	930	191	177
A6,3 095-2a					АО2-42-4	5,5	1440	4A112MA4	5,5	1450	222	203
A6,3 095-26					АО2-41-4	4	1440	4A100LB4	4	1425	219	197
A6,3 100-1				100	АО2-32-6	2,2	930	4A100 LB6	2,2	930	202	199
A6,3 100-2a	АО2-51-4				7,5	1440	4A132S4	7,5	1450	294	281	
A6,3 100-26	АО2-42-4				5,5	1440	4A112MA4	5,5	1450	226	207	

Продолжение таблицы В15

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A6,3 105-1	6,3		105	A02-32-6	2,2	930	4A100LB6	2,2	930	200	197
A6,3 105-2				A02-51-4	7,5	1440	4A132S4	7,5	1450	271	258
A8-5a	8		—	A02-52-6	7,5	965	4A132M6	7,5	960	388	359
A8-5б				A02-51-6	5,5	965	4A132S6	5,5	960	388	356
A10-4	10		—	A02-62-8	10	725	4A200M6	22	980	663	769
A10-8				A02-72-6		970	4A180M6	18,5	980	738	684
Ц4-70 (исполнение 6)											
A8-1	8	670		A02-41-6	3	960	4A112MA6	3	950	568	554
A8-2		755		A02-42-6	4	960	4A112MB6	4	950	568	550
A8-3		850		A02-51-6	5,5	970	4A132S6	5,5	960	587	575
A8-4		950		A02-52-6	7,5	970	4A132M6	7,5	960	599	588
A8-6		1065		A02-61-6	10	970	4A160S6	11	970	617	612
A8-7 и A8-7a		1190		A02-62-6	13	970	4A160M6	15	970	631	625
A8-7б		1190		—	—	—	4A160S6	11	970	—	597
A10-1	10	530	100	A02-42-6	4	960	4A112MB6	4	950	885	867
A10-2		600		A02-51-6	5,5	970	4A132S6	5,5	960	819	807
A10-3		670		A02-52-6	5,5	970	4A132 M6	7,5	960	837	818
A10-5		750		A02-61-6	10	970	4A160SB	11	970	851	840
A10-6		845		A02-71-6	17	970	4A160M6	15	970	885	838
A10-7		950		A02-72-6	22	970	4A180M6	18,5	980	908	849
A12,5-1	12,5	425		A02-51-6	5,5	970	4A132S6	5,5	960	1281	1269
A12,5-2		475		A02-52-6	7,5	970	4A132M6	7,5	960	1299	1280
A12,5-3		530		A02-61-6	10	970	4A160S6	11	970	1313	1302
A12,5-4		600		A02-71-6	17	970	4A160M6	15	970	1347	1300
A12,5-5 и		670		A02-72-6	22	970	4A200M6	22	980	1365	1396

Окончание таблицы В15

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A12,5-5a	12,5		100								
A12,5-5б		670		—	—	—	4A180M6	18,5	980	1415	1370
A12,5-6		755		A02-81-6	30	980	4A200L6	30	980	1415	1370
Ц4-76 (исполнение 6)											
Б8-1	8	1130	100	A02-52-4	10	1450	4A132M4	11	1450	647	633
Б8-2		1270		A02-61-4	13	1450	4A160S5	15	1450	650	642
Б8-3		1420		A02-71-4	22	1455	4A189S4	22	1470	680	647
Б8-4		1600		A02-72-4	30	1455	4A180M4	30	1470	810	769
Б10-1	10	900		A02-62-4	17	1450	4A160M4	18,5	1450	980	977
Б10-2		1000		A02-71-4	22	1455	4A180SA	22	1470	1050	1017
Б10-3		1120		A02-72-4	30	1455	4A180M4	30	1470	1078	1037
Б10-4		1280		A02-81-4	40	1460	4A200L4	45	1475	1213	1188
Б16-1	16	420		A02-71-6	17	970	4A180M6	18,5	980	2346	2319
Б16-2		460		A02-72-6	22	970	4A180M6	18,5	980	2376	2322
Б16-3 и Б16-3а		475		A02-72-6	22	970	4A200M6	22	980	2375	2407
Б16-3б, Б16-4		475		—	—	—	4A180M6	18,5	980	—	2322
Б16-4а и		510		A02-81-6	30	980	4A200L6	30	980	2501	2456
Б16-4б		510		—	—	—	4A200M6	22	980	—	2431
Б16-5		555		A02-81-6	30	980	4A225M6	37	980	2498	24443
Б16-6		580		A02-82-6	40	980	4A225M6	37	980	2485	2560
Б16-7 и Б16-7а		650		A02-91-6	55	985	4A250M6	55	985	2615	2610
Б16-7б		650		—	—	—	4A250M6	45	985	—	2570
Б20-1 Б20-2 и	20	365		A02-81-6	30	980	4A200L6	30	980	4145	4100
Б20-2а		400		A02-82-6	40	980	4A250L6	45	985	4175	4245
Б20-2б		400		—	—	—	4A225M6	37	980	—	4150
Б20-3		465		A02-91-6	55	985	4A250M6	55	985	4275	4270

Примечание: центробежные вентиляторы Ц4-70 выпускаются из нержавеющей стали, исполнение 6; № 10; 12 и 16. Вентиляторы Ц4-70-16 изготавливаются также из углеродистой стали и комплектуются электродвигателями серии А0 или 4А мощностью от 10 до 75 кВт.



**Таблица В16 – Исходные данные для расчета приземной концентрации пыли и определения СЗЗ**

Вариант	$H$ , м	$D$ , м	$T_b$ , °C	$T_r$ , °C	$\omega_0$ , м/с	$M$ , г/с
1	20	0,5	20	30	13	24
2	20	0,6	25	40	13	30
3	20	0,7	15	30	13	36
4	50	0,8	13	20	15	45
5	50	0,9	10	20	15	68
6	50	1,0	15	20	15	40
7	50	1,2	20	30	15	60
8	50	1,4	25	30	15	35
9	100	1,6	20	40	20	180
10	100	1,8	15	30	20	130
11	100	2,0	10	20	20	260
12	100	2,5	15	20	20	320
13	150	3,0	20	30	20	510
14	150	3,5	25	40	20	370
15	150	4,0	10	15	20	280
16	20	0,5	15	25	8,5	15
17	20	0,6	20	30	9,5	7
18	20	0,7	25	40	10,5	13
19	50	0,8	20	40	12	60
20	50	0,9	15	30	12	35
21	50	1	10	20	12	180
22	50	1,2	20	25	12	130
23	50	1,4	25	40	16	40
24	100	1,6	15	30	16	60
25	100	1,8	20	25	16	35
26	100	2	20	30	16	180

**Таблица В17 – Исходные данные для расчета звукоизолирующего кожуха**

№ вар.	Габаритные размеры, м						Уровни звукового давления, дБ, на рабочих местах в октавных полосах частот, Гц							
	источника шума			кожуха										
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>H</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>h</i>	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	104	98	96	93	90	85	89	84
2	0,5	1,0	1,0	0,7	1,2	1,2	102	100	95	94	89	84	85	83
3	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	103	102	97	94	92	86	81	86
4	0,6	0,8	1,0	0,8	1,0	1,2	100	101	95	94	94	90	86	81
5	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	105	103	99	90	89	86	85	85
6	0,7	1,2	1,2	0,9	1,4	1,4	107	105	102	95	92	85	84	83
7	0,7	1,2	1,4	0,9	1,4	1,6	102	101	97	94	90	86	85	84
8	0,8	0,8	0,9	1,0	1,0	1,0	100	103	100	93	86	82	86	81
9	0,8	0,9	1,0	1,0	1,2	1,2	101	93	90	95	87	83	84	82
10	0,9	0,9	0,9	1,1	1,1	1,1	103	96	101	89	91	84	86	85
11	0,9	0,9	1,6	1,1	1,1	1,8	106	106	94	95	96	88	84	83
12	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2	104	98	96	93	90	85	89	84
13	1,0	1,2	1,2	1,2	1,4	1,4	102	100	95	94	89	84	85	83
14	1,0	1,2	1,5	1,2	1,4	1,7	103	102	97	94	92	86	81	86
15	1,1	1,1	1,1	1,3	1,3	1,3	100	101	95	94	94	90	86	81
16	1,2	1,2	1,2	1,4	1,4	1,4	105	103	99	90	89	86	85	85
17	1,2	1,5	0,6	1,4	1,6	0,8	107	105	102	95	92	85	84	83
18	1,2	1,5	1,5	1,3	1,75	1,75	102	101	97	94	90	86	85	84
19	1,4	1,4	1,1	1,5	1,5	1,2	100	103	100	93	86	82	86	81
20	1,4	1,4	1,4	1,6	1,6	1,6	101	93	90	95	87	83	84	82
21	1,4	1,6	1,4	1,6	1,8	1,6	103	96	101	89	91	84	86	85
22	1,5	1,5	0,9	1,7	1,75	1,1	106	106	94	95	96	88	84	83
23	1,5	1,5	1,5	1,8	1,8	1,8	105	103	99	90	89	86	85	85
24	1,5	0,75	1,8	1,75	1,0	2,0	107	105	102	95	92	85	84	83
25	2,0	1,0	1,5	2,2	1,2	1,75	102	101	97	94	90	86	85	84

**Таблица В18 – Звукоизолирующая способность перегородок акустически однослойных конструкций**

Материал	Толщина, мм	Звукоизолирующая способность конструкции, дБ, в октавных полосах частот, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Стекло-пластик	1	9	13	17	21	25	29	31	32
	5	12	16	20	24	28	31	31	34
	10	17	21	25	28	31	31	34	38
Сталь	1	13	17	21	25	28	32	36	36
	3	19	23	27	31	35	37	36	38
	5	22	26	30	34	37	32	36	42
	10	26	30	3	36	32	36	42	42
Стальной лист с покрытием из минераловатной плиты толщиной 70 мм	1,5	15	20	26	35	39	40	46	48
Дюралюминиевый лист с покрытием из минераловатной плиты толщиной 80 мм	2	20	15	20	28	36	43	50	53

СОСТАВИТЕЛИ:  
БАДАЛЯН Липарит Хачатурович  
ОВЧАРЕНКО Алла Михайловна

**Практикум**  
по дисциплине «Безопасность отрасли в техносфере»  
для обучающихся всех форм обучения  
по направлению Техносферная безопасность  
7-й семестр