



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

ПРАКТИКУМ

ПО ДИСЦИПЛИНЕ
БЕЗОПАСНОСТЬ ОТРАСЛИ В ТЕХНОСФЕРЕ
(7 СЕМЕСТР)

Учебное пособие

Составитель: к.т.н., доцент Бадалян Л.Х.

Ростов-на-Дону
2018



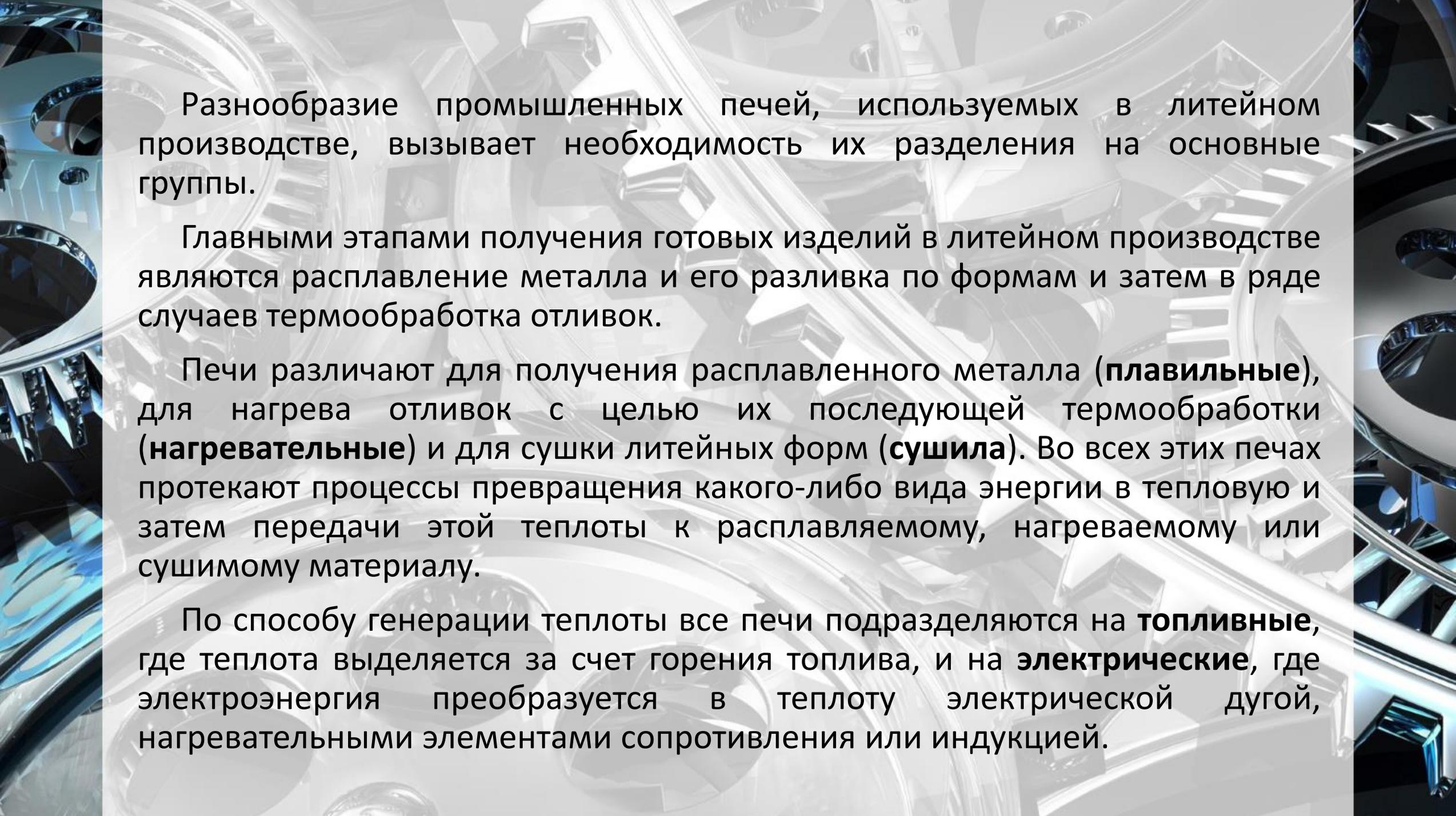
1. Безопасность литейного производства

- ✓ Расчет индукционной тигельной печи
- ✓ Расчет индукционной канальной печи
- ✓ Расчет дуговой плавильной печи

Введение

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 расплавляемому, нагреваемому или сушимому 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.

Техника безопасности при обслуживании литейных печей

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.

Все каркасы печей и щиты должны быть заземлены. 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.

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 съемных ограждениях.

Электрические аппараты (пускатели, контакторы и т.д.) и пирометрические приборы рекомендуется устанавливать на отдельных щитах.

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.

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 техники безопасности.

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.



Практическая работа № 1.1



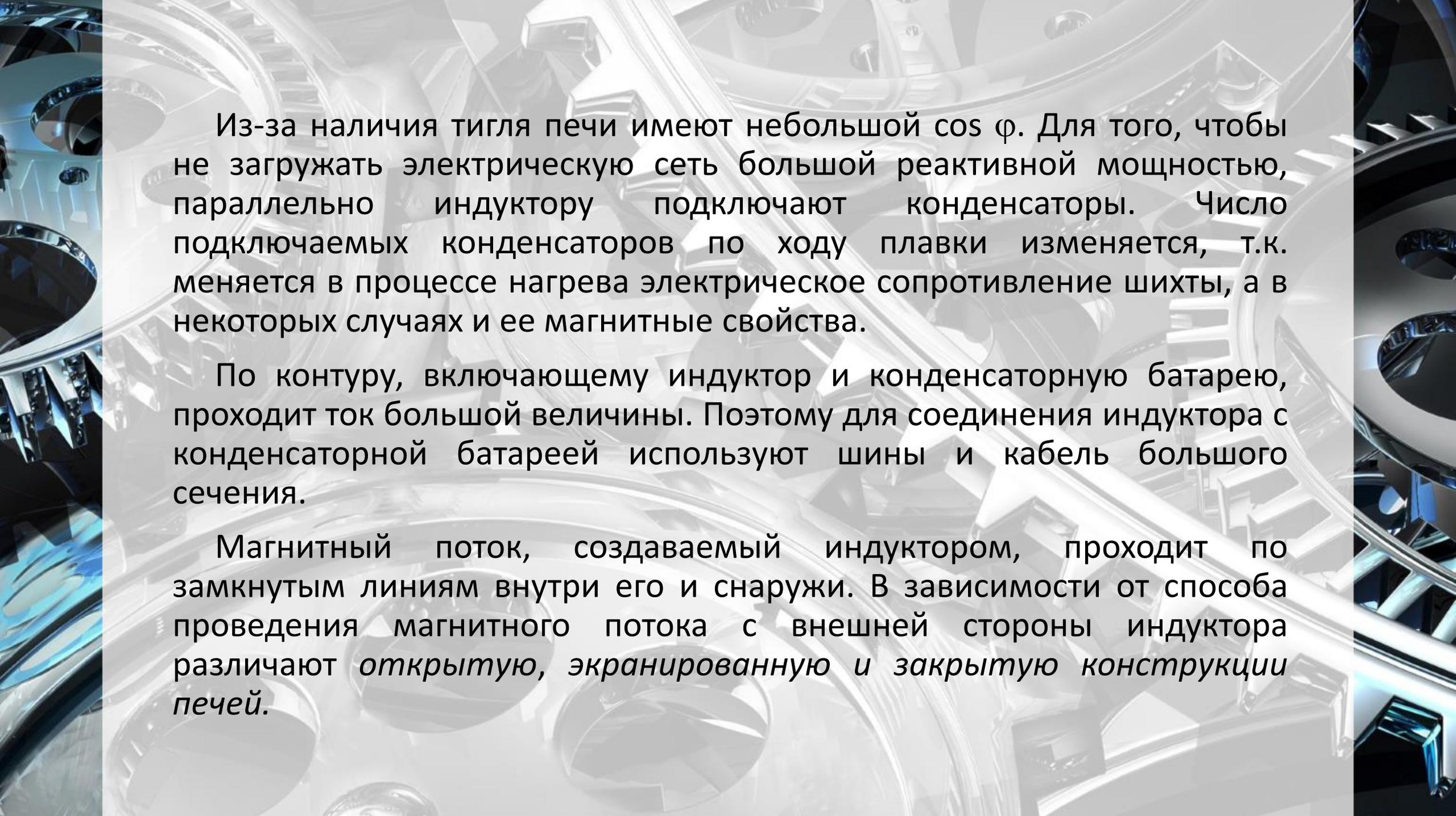
Расчет индукционной тигельной печи

1. Общие сведения

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.*

Открытая конструкция

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 немагнитными 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.

Экранированная конструкция

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.

Закрытая конструкция

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 печах 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 рисунке 1.1 изображен поперечный разрез индукционной тигельной печи.

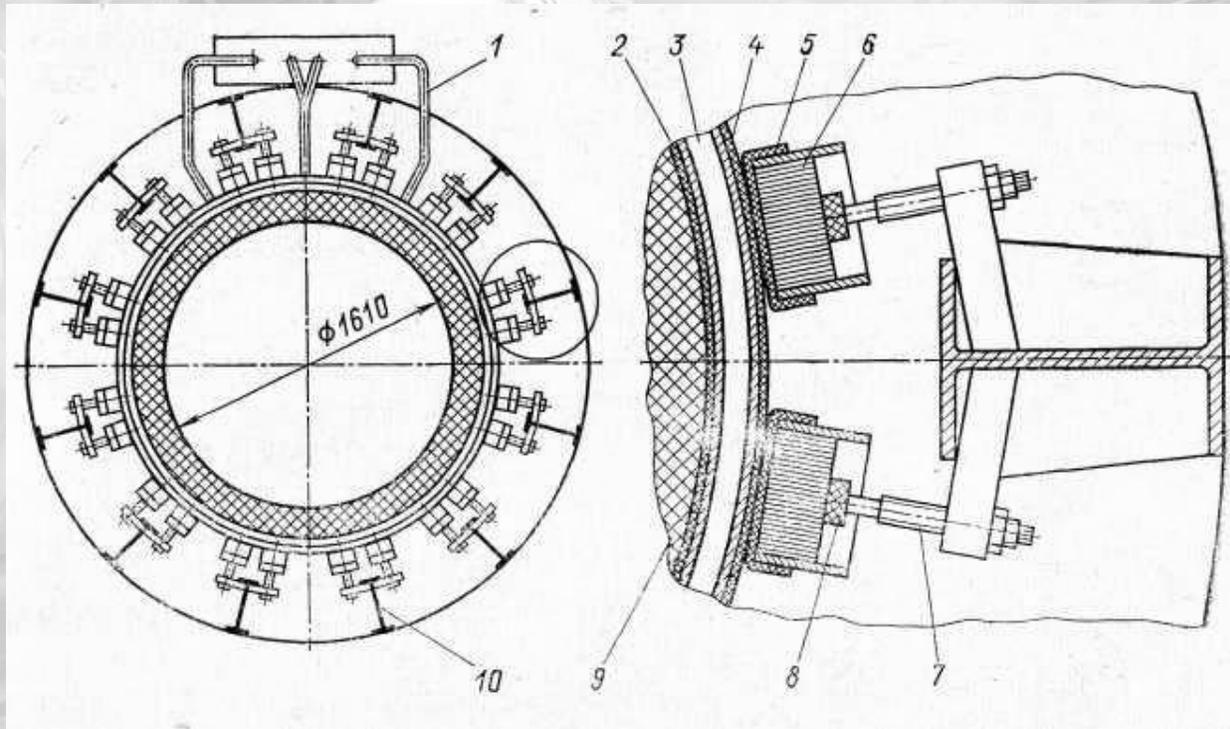
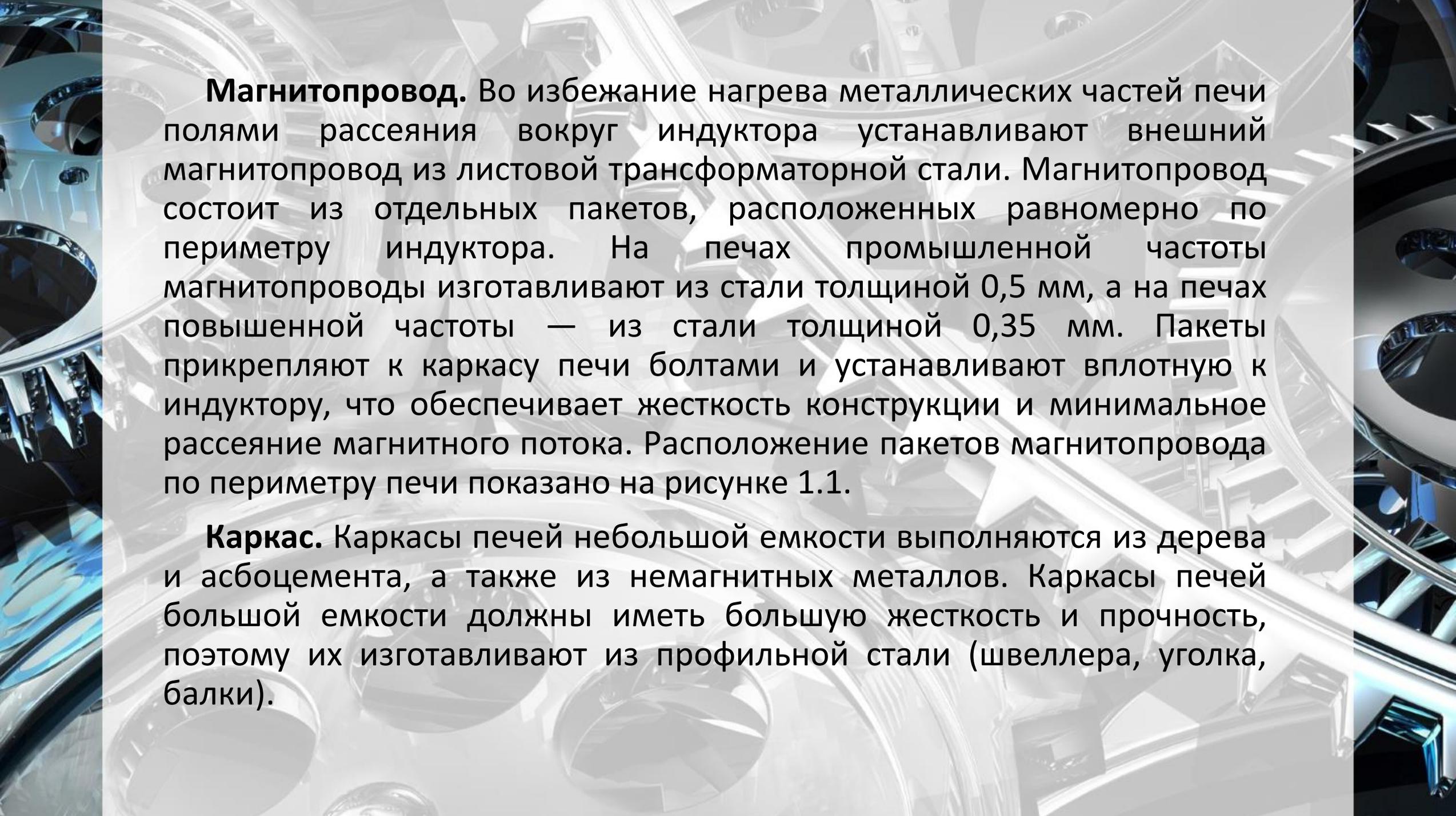


Рисунок 1.1 – Поперечный разрез индукционной тигельной печи:
1 — электровыводы; 2, 4 — асбест; 3 — трубка индуктора;
5, 8 — изоляторы; 6 — магнитопровод; 7 — прижимной винт;
9 — футеровка печи; 10 — балка каркаса печи



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 рисунке 1.1.

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 (рисунок 1.2). 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.

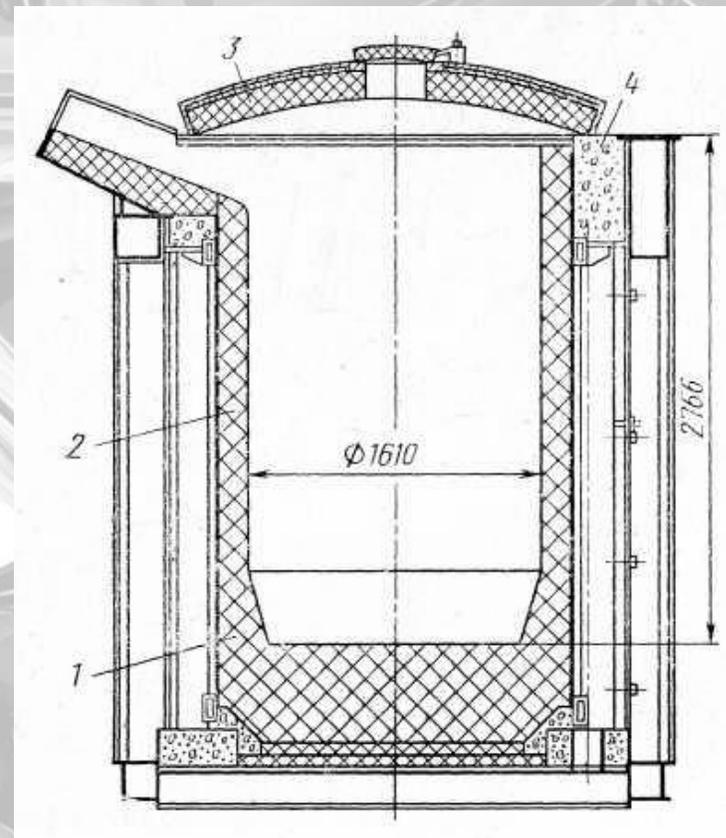


Рисунок 1.2 – Футеровка индукционной тигельной печи: 1 – подина, 2 – тигель, 3 – крышка, 4 – верхнее кольцо

2. Варианты задания на расчет

Варианты	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

Варианты	Производительность, т/ч	Загрузка, ч	Разгрузка, ч	Выплавляемый металл (сплав)
13	18	4,5	1,8	Си
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	Си
19	0,5	4,5	2,0	Чугун
20	9	0,2	2,0	Си
21	3	3,5	1,8	Бронза
22	9	4,5	0,2	Чугун
23	18	2,0	1,5	Си
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.

3. Методика расчета

- **Полезная емкость тигля, т**

$$G = (T_1 + T_2)P,$$

где T_1 и T_2 — продолжительность плавки, а также загрузки и разливки печи, ч;

P — производительность печи, т/ч.

- **Объем жидкого металла в печи, м³**

$$V_M = \frac{G}{\gamma_M},$$

где γ_M — плотность жидкого металла, т/м³ (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Теоретический удельный расход энергии на расплавление и перегрев металла

Металл	Температура, °C	Плотность, т/м ³	Расход энергии, кВт · ч/т	
			Расплавление и перегрев	Перегрев на 1 °C
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		

- **Внутренний диаметр тигля, м (рисунок 1.3)**

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

где B — коэффициент, зависящий от емкости печи:

$$B = (1,5—2) \text{ для } G \leq 1 \text{ т};$$

$$B = (1,35—1,5) \text{ для } G = (1—3) \text{ т};$$

$$B = (1—1,35) \text{ для } G \geq 3 \text{ т}.$$

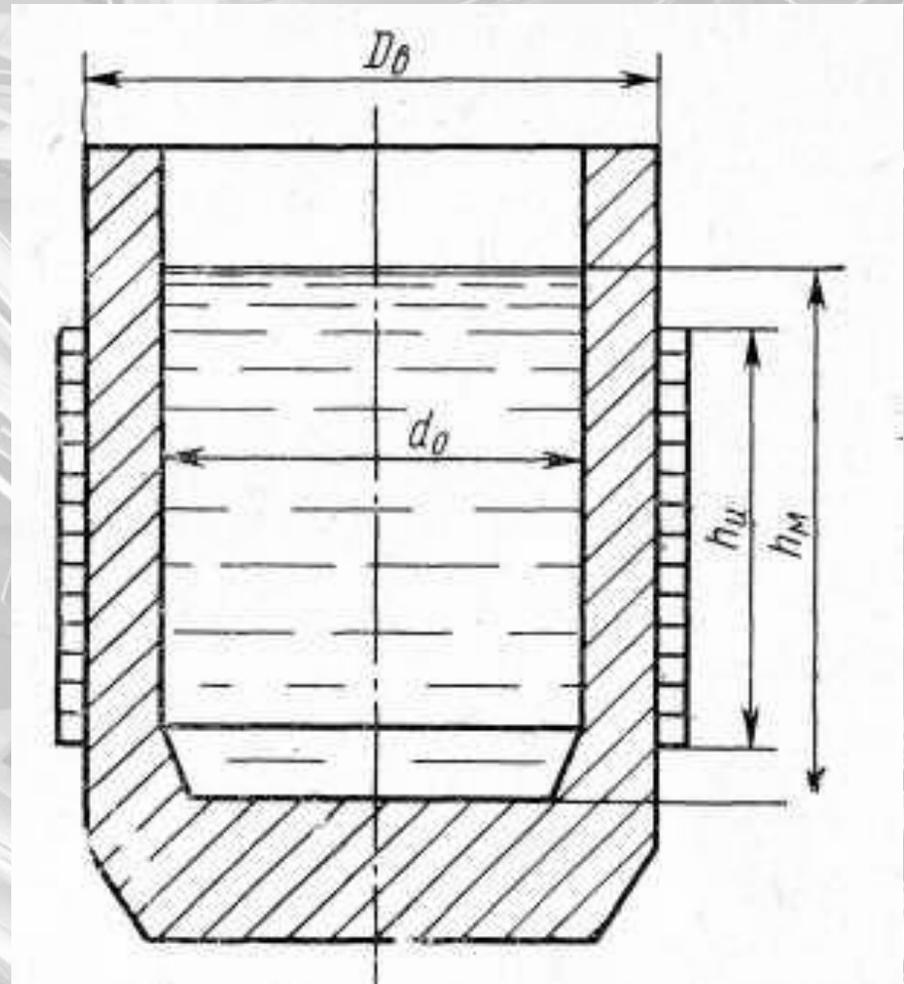


Рисунок 1.3 – К расчету индукционной тигельной печи

- **Высота металла в тигле, м**

$$h_{\text{м}} = B d_0.$$

- **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

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

- Толщина изоляционного слоя асбеста между тиглем и индуктором, м

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

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

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

- Внутренний диаметр индуктора, м

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

- Полезная тепловая мощность, выделяющаяся в садке, кВт

$$P_{\text{пол}} = W_{\text{теор}} \Pi,$$

где $W_{\text{теор}}$ — теоретический удельный расход энергии, кВт · ч/т (см. таблицу 1.1).

➤ **Активная мощность печи, кВт**

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

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

- Минимальная частота питающего тока, Гц

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

где ρ_m — удельное электрическое сопротивление садки, Ом·м;

μ_m — относительная магнитная проницаемость садки;

d_c — диаметр садки, м (для жидкого металла $d_c = d_0$ (см. рисунок 1.3), 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 (см. следующий слайд).

- А. Тигель заполнен твердой шихтой. Выбираем соответствующие температуру t , удельное электрическое сопротивление ρ_m и относительную магнитную проницаемость μ_m по таблице 1.2, 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. таблицу 1.2).
- В. Тигель заполнен жидким металлом (см. таблицу 1.2). 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 1.2 – Глубина проникновения тока в некоторые металлы, мм

Металл	$t, ^\circ\text{C}$	$\rho_M,$ $\text{Ом} \cdot \text{м}$ $\cdot 10^{-8}$	μ_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

➤ **Высота индуктора, м**

$$h_{\text{и}} = (0,7 - 1,3) h_{\text{м}}.$$

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.

$$h_{\text{и}} = 0,85 h_{\text{м}}.$$

➤ Глубина проникновения тока в садку, м

$$\Delta_{\text{э}} = 503 \sqrt{\frac{\rho_{\text{м}}}{\mu_{\text{м}} f'}}$$

где f — частота тока питающего индуктор, Гц.

➤ Напряженность магнитного поля в индукторе, А/м

$$H = \frac{10^3}{k_s} \sqrt{\frac{P_a}{6,2d_0 h_M \sqrt{\rho_M \mu_M} f A_M}},$$

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 / Δ_s (рисунок 1.4).

- **Толщина стенки индуктора, мм, определяется из условий минимальных потерь активной мощности в индукторе**

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

- **Потери активной мощности в индукторе, кВт**

$$P_{\text{а.и}} = 6,2 \cdot 10^{-6} H^2 D_{\text{в}} h_{\text{и}} \sqrt{\rho_{\text{и}} \mu_{\text{и}} f} \cdot \frac{A_{\text{и}}}{k_{\text{з.и}}},$$

где $\rho_{\text{и}}$ – удельное электрическое сопротивление медного индуктора, $\rho_{\text{и}} = 2 \cdot 10^{-8}$ Ом·м (см. таблицу 1.2);

$\mu_{\text{и}}$ – относительная магнитная проницаемость материала индуктора;

$A_{\text{и}}$ – поправочный коэффициент активной мощности, учитывающий кривизну индуктора согласно отношению $D_{\text{в}}/\Delta_{\text{э.и}}$. (рисунок 1.5). Для медного индуктора $\Delta_{\text{э.и}} = 0,013$;

$k_{\text{з.и}}$ – коэффициент заполнения индуктора, равный 0,7—0,9.

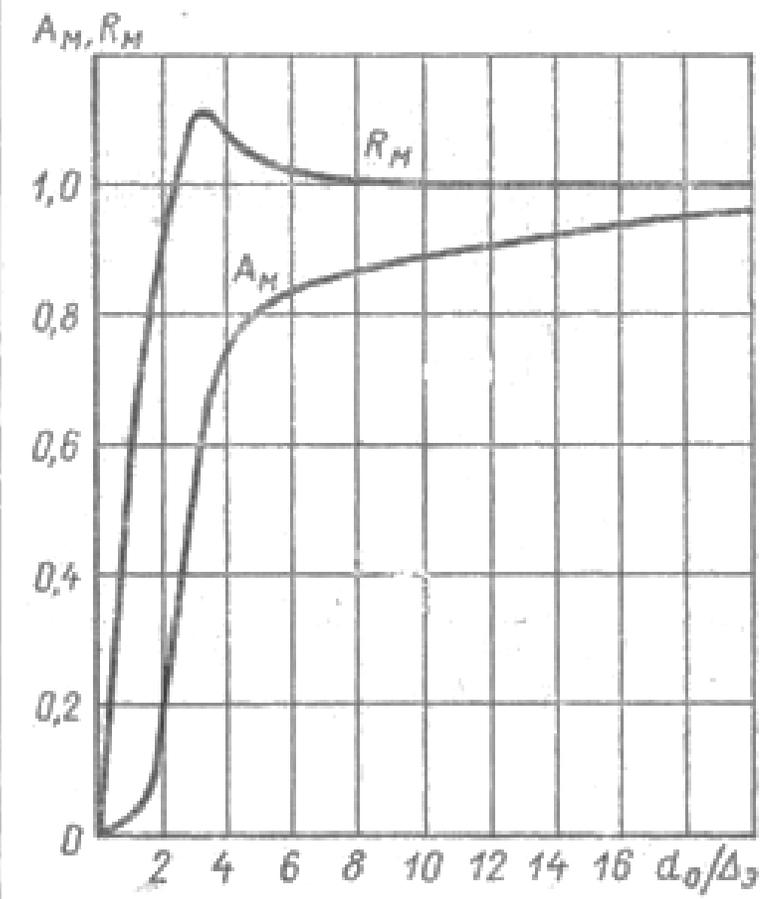


Рисунок 1.4 – Поправочные коэффициенты активной и реактивной мощности для садки

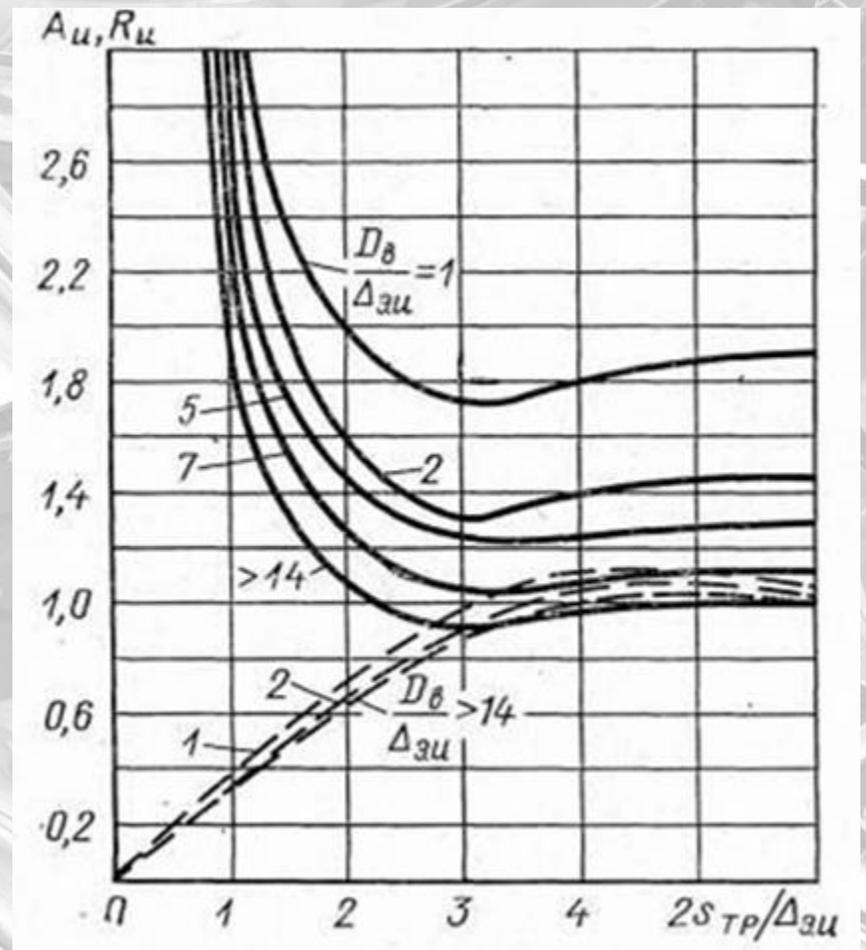


Рисунок 1.5 – Поправочные коэффициенты активной и реактивной мощности для индуктора

- **Реактивная мощность в индукторе, квар**

$$P_p = 6,2 \cdot 10^{-6} H^2 D_v h_{\text{и}} \frac{R_{\text{и}}}{k_{\text{з.и}}}$$

где $R_{\text{и}}$ – поправочный коэффициент реактивной мощности, учитывающий кривизну индуктора, определяют по штриховым линиям для различных $D_v/\Delta_{\text{э.и}}$. (см. рисунок 1.5).

- **Общая активная мощность, кВт**

$$P_{\text{о.а}} = P_{\text{а}} + P_{\text{а.и}}$$

- **Общая реактивная мощность, квар**

$$P_{\text{о.р}} = P_{\text{р.с}} + P_{\text{р.з}} + P_{\text{р.и}}$$

- Полная мощность системы индуктор-садка, кВ·А

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

- Ток в индукторе, А

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

$$I = 10^3 \frac{P_o}{U_{и}},$$

где $U_{и}$ — напряжение на индукторе, В.

- Число витков в индукторе

$$W = \frac{Hh_{и}}{J}$$

- Шаг витка индуктора (рисунок 1.6), м

$$\tau = \frac{h_{и}}{W}$$

- Высота трубки индуктора, м

$$h_{тр} = \tau k_{з.и}$$

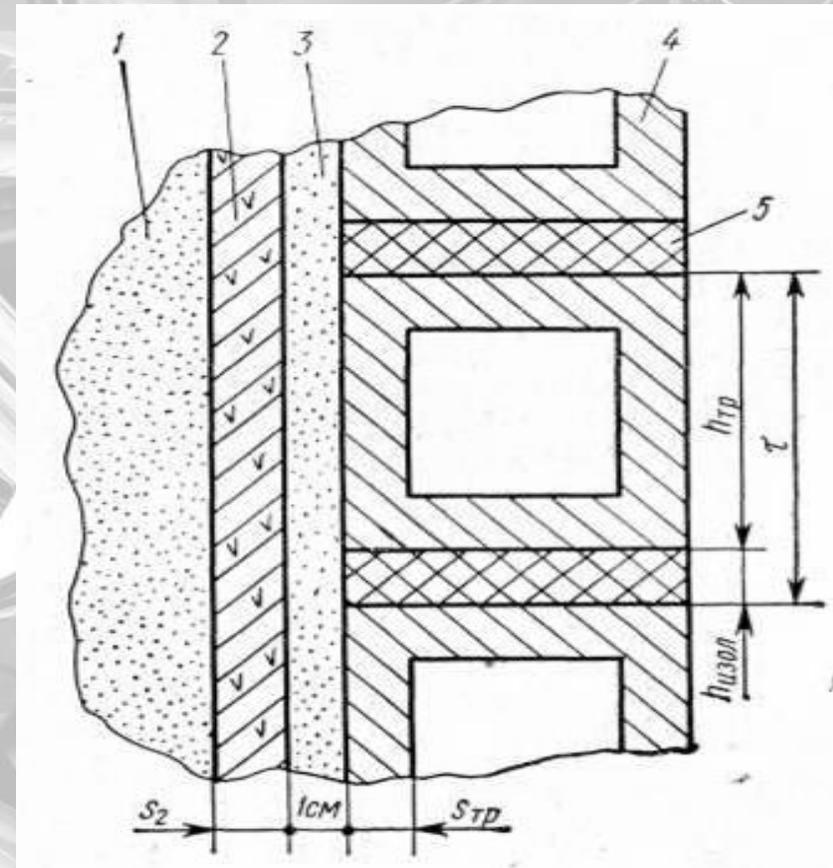


Рисунок 1.6 – К расчету шага витка индуктора: 1 — тигель; 2 — асбест; 3 — кварцевая обмазка; 4 — индуктор; 5 — межвитковая изоляция

- Толщина изоляции между витками, м

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

- Напряжение тока между витками индуктора, В

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

- Напряжение на 1 см изоляции между витками, В

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

Допускается не более 200 В на 1 см изоляции.

➤ **Ширина трубки индуктора, мм**

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

$$S = \sqrt{\frac{4I}{j\pi}}$$

➤ **Естественный угол $\cos \varphi$ печи**

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

➤ **Емкость конденсаторной батареи, мкФ**

$$C = \frac{P_{o.p} \cdot 10^9}{2\pi f U_K^2},$$

где U_K — напряжение на конденсаторе, В.

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

- **Общее сечение магнитопроводов, м²**

$$Q_{\text{МГ}} = \frac{U_{\text{и}}}{4,44 fWB'}$$

где B — индукция в магнитопроводе, Вб/м², при частоте 50 Гц $B = 0,6—1$.

- **Сечение одного магнитопровода, мм²**

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

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

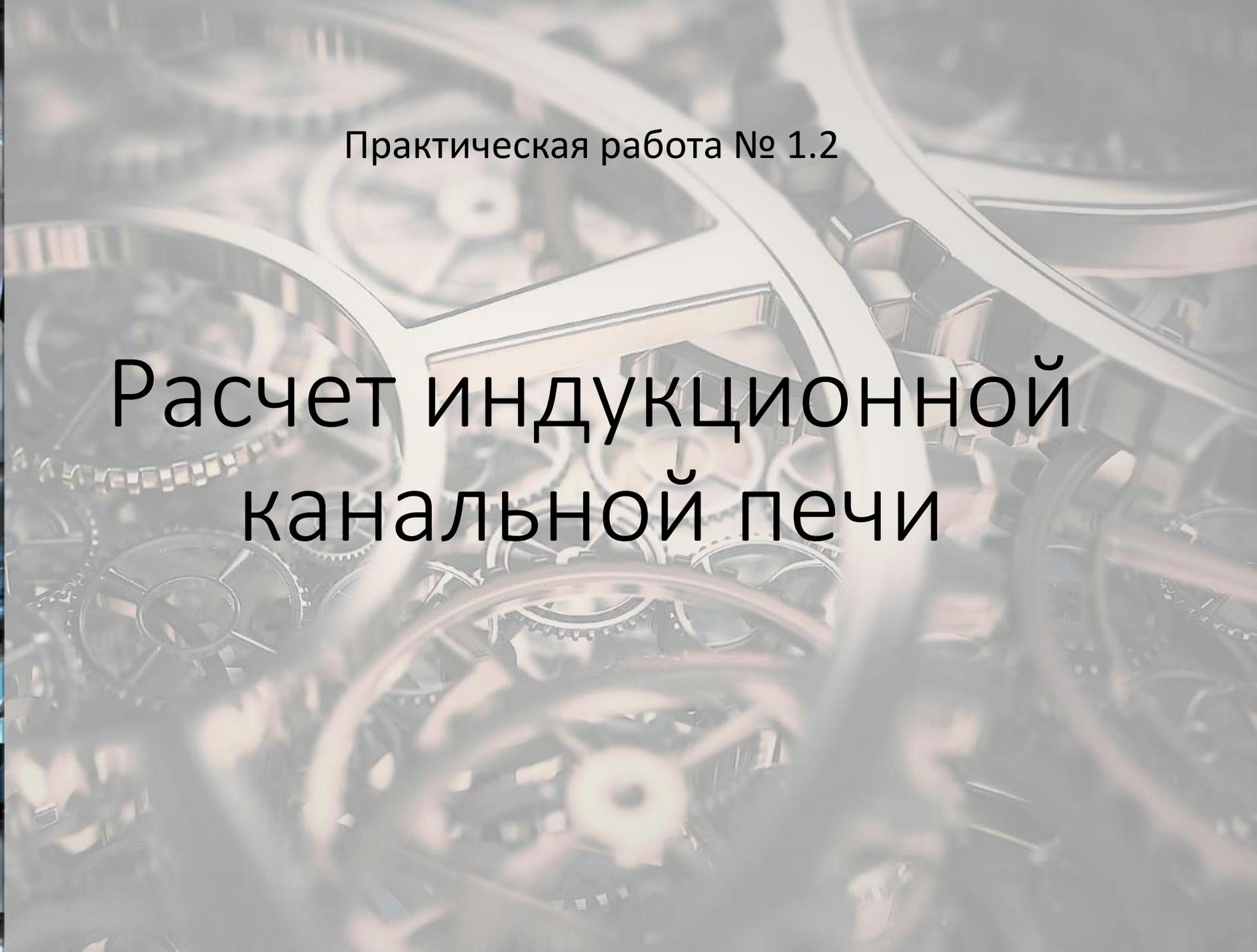
Исходя из величины $q_{\text{МГ}}$, подбираются длина и ширина магнитопровода, мм.

4. Контрольные вопросы

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



Практическая работа № 1.2



Расчет индукционной канальной печи

1. Общие сведения

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 каналные печи применяют для перегрева до 1550°C чугуна, выплавленного в вагранках. Канальные печи используют также для плавки цинка, меди и сплавов.



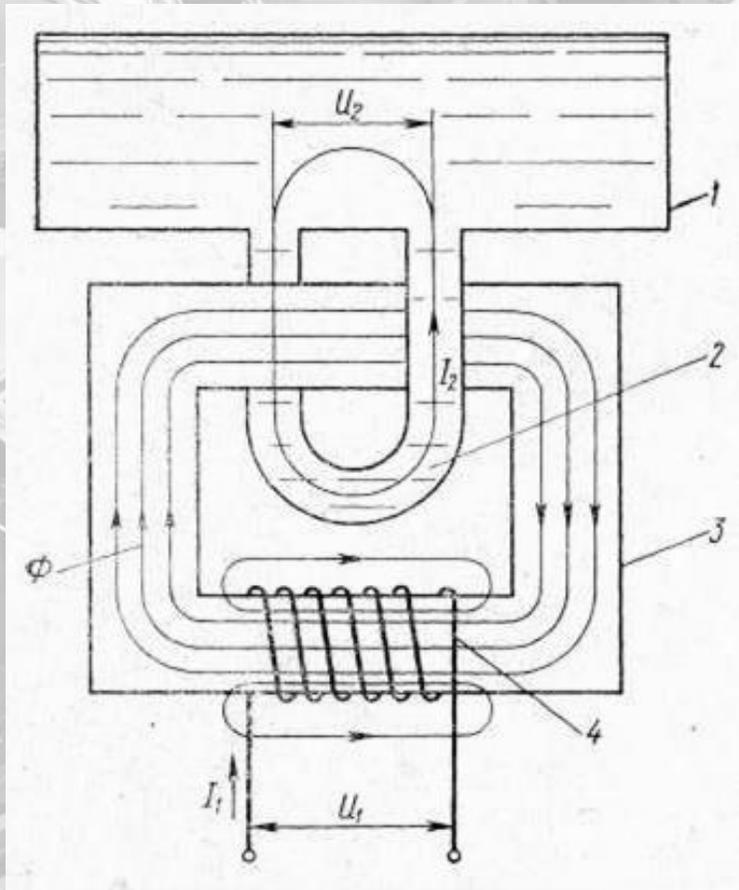
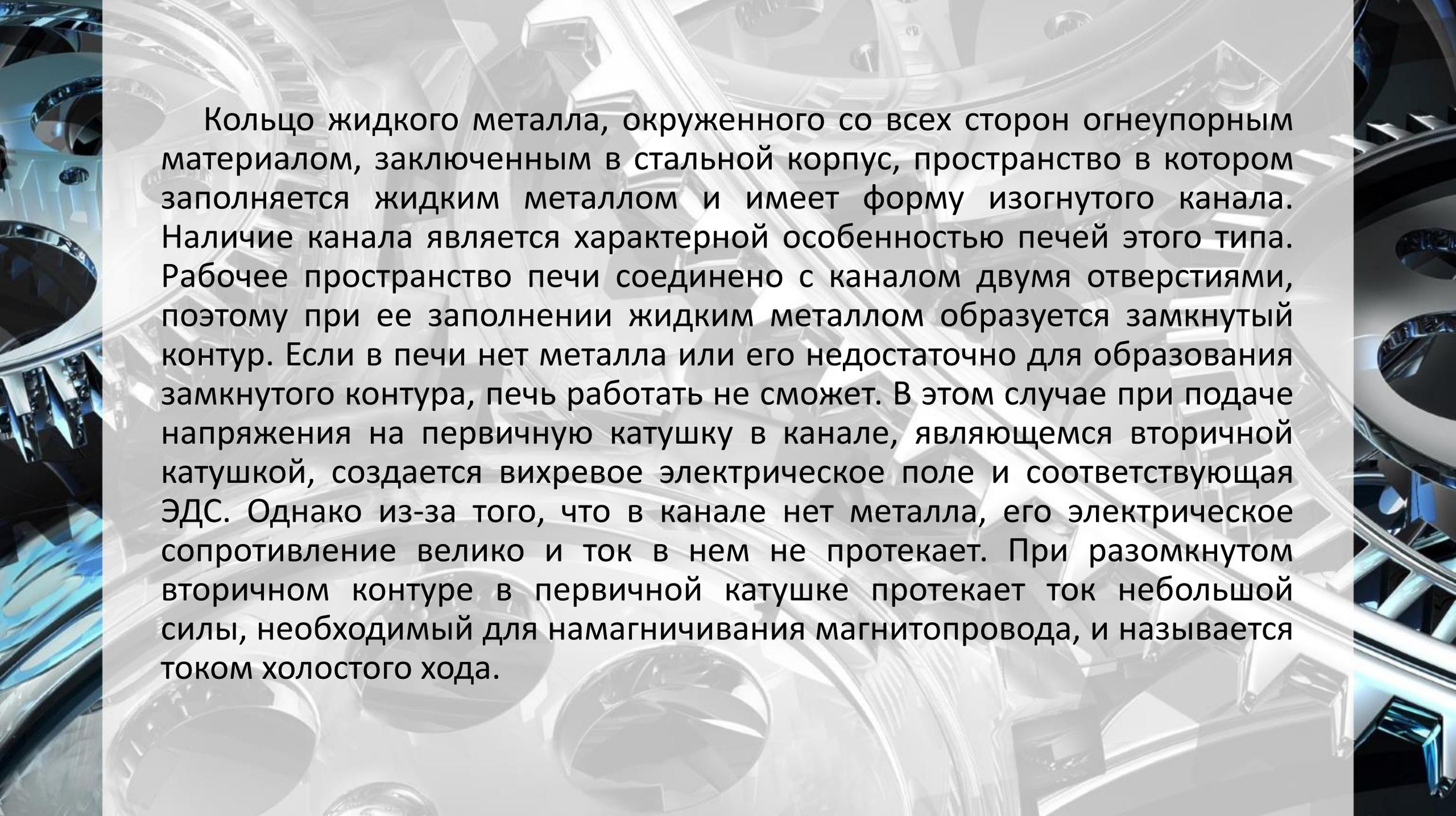
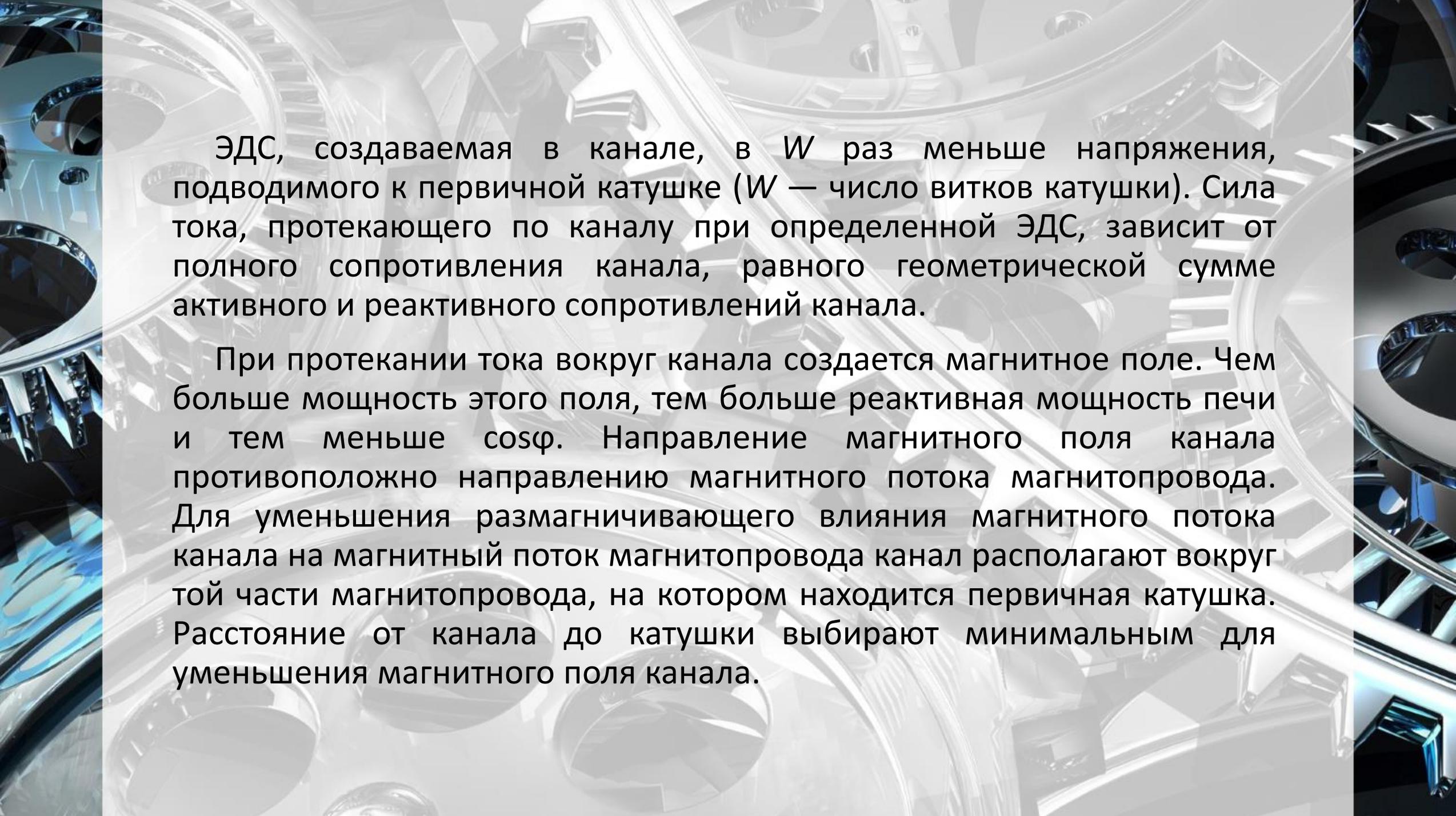


Рисунок 1.7 – Принципиальная схема индукционной каналной печи: 1 — ванна печи; 2 — канал; 3 — магнитопровод; 4 — первичная катушка

Принцип действия каналной печи состоит в том, что переменный магнитный поток Φ 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 $\mu = 1500-2000$ (рисунок 1.7).



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.



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 $\cos\varphi$. 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—150 °С 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.



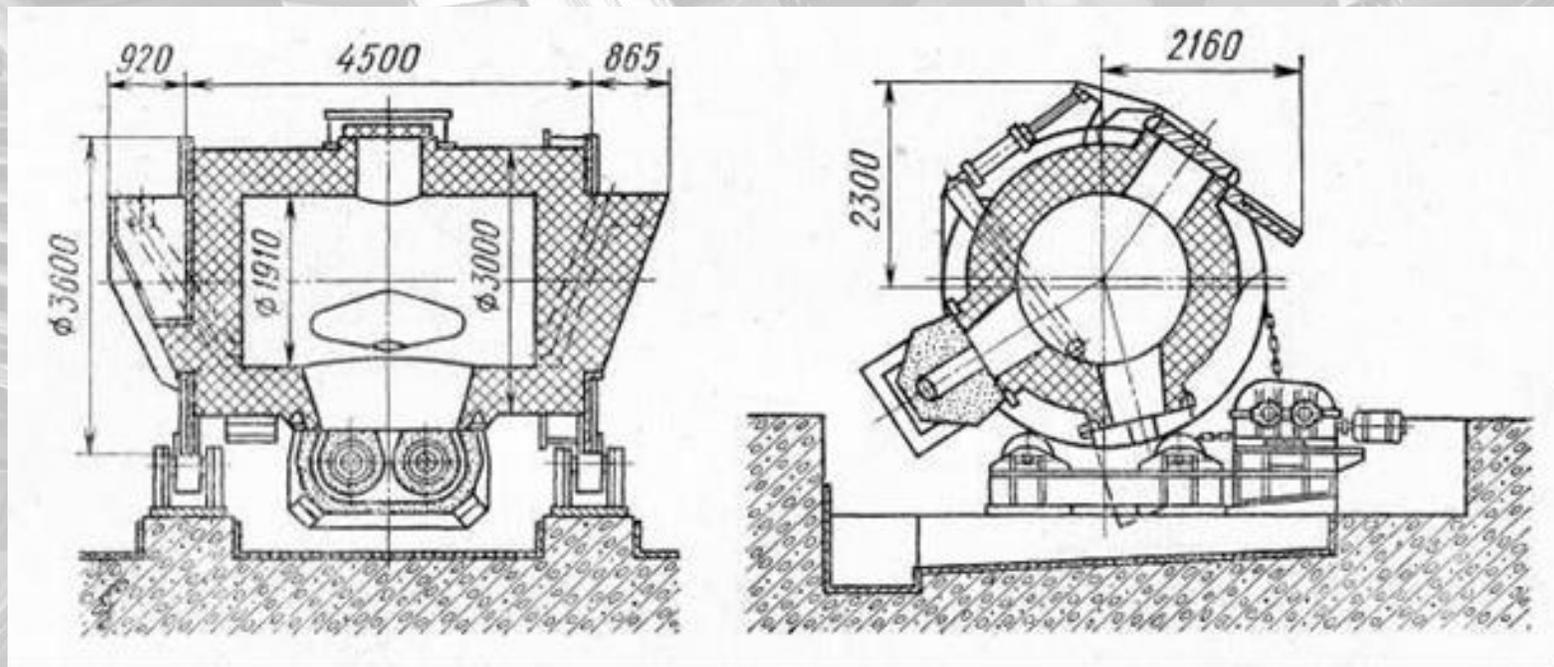
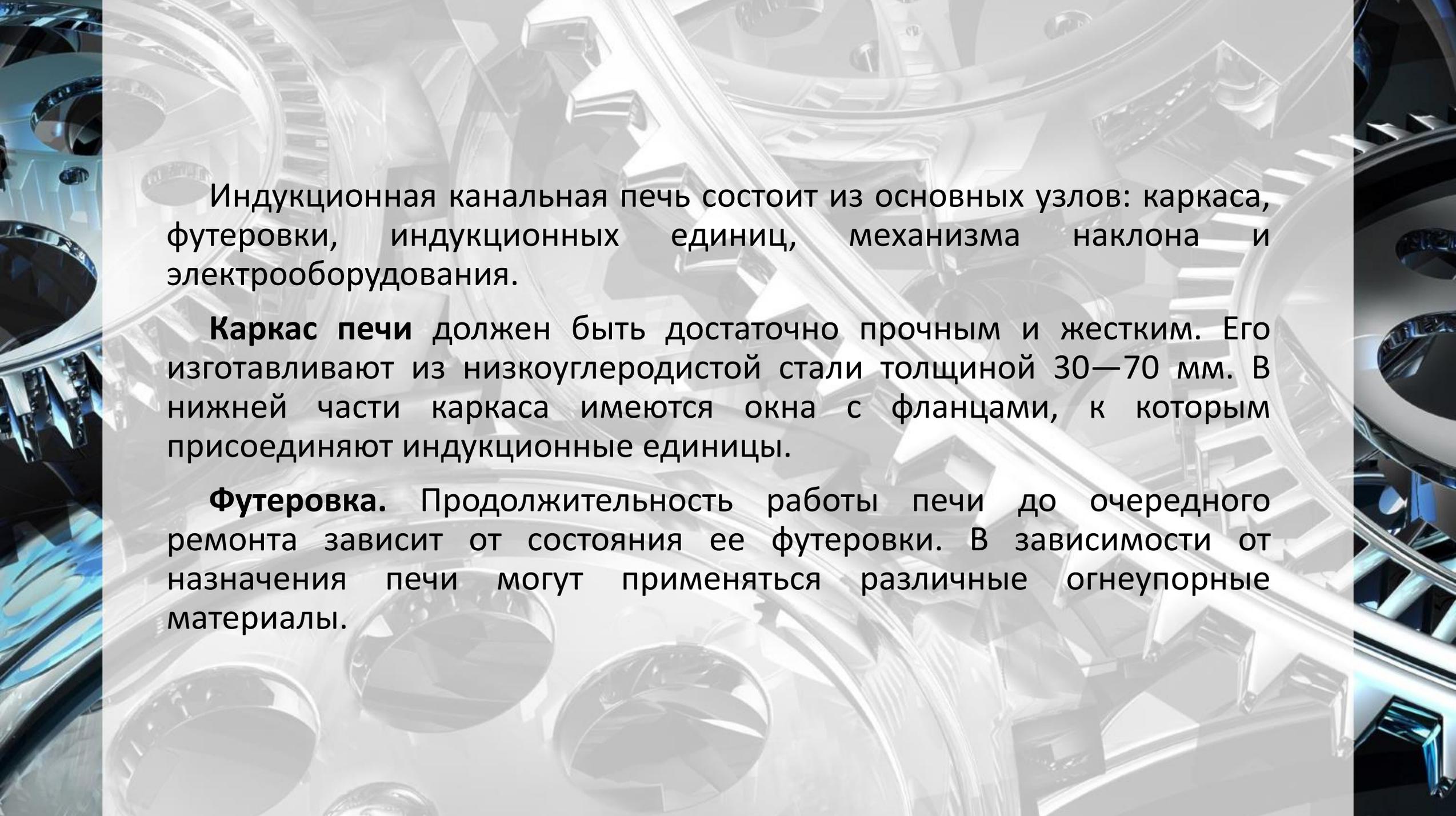


Рисунок 1.8 – Индукционная канальная печь для перегрева чугуна

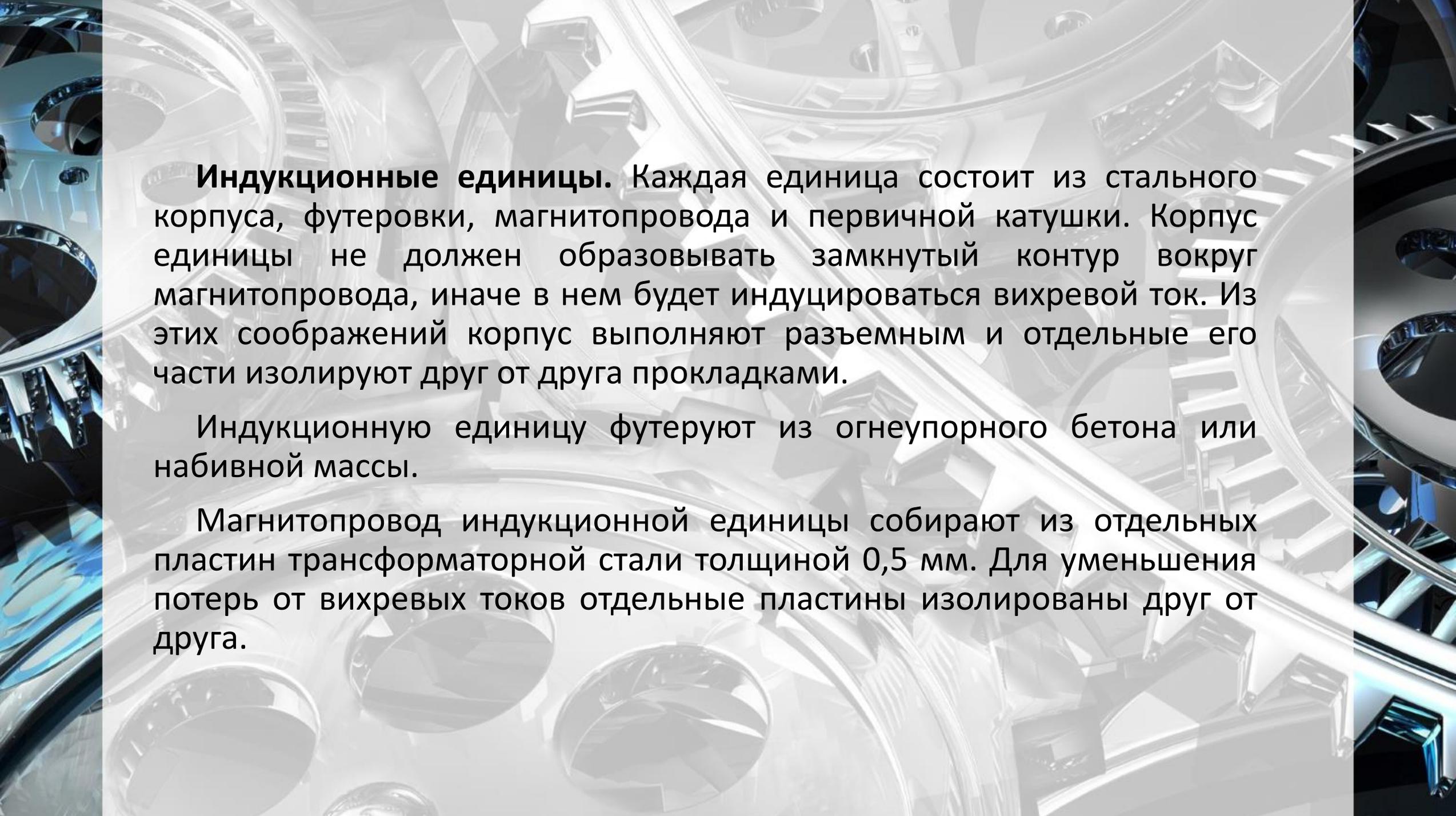
На рисунке 1.8 показана индукционная канальная печь для перегрева чугуна. Печь представляет собой горизонтально расположенный цилиндр с наружным и внутренним диаметрами. Металл выдают из печи поворотом или наклоном ванны, а в некоторых случаях созданием избыточного давления газа над уровнем металла в 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.



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.

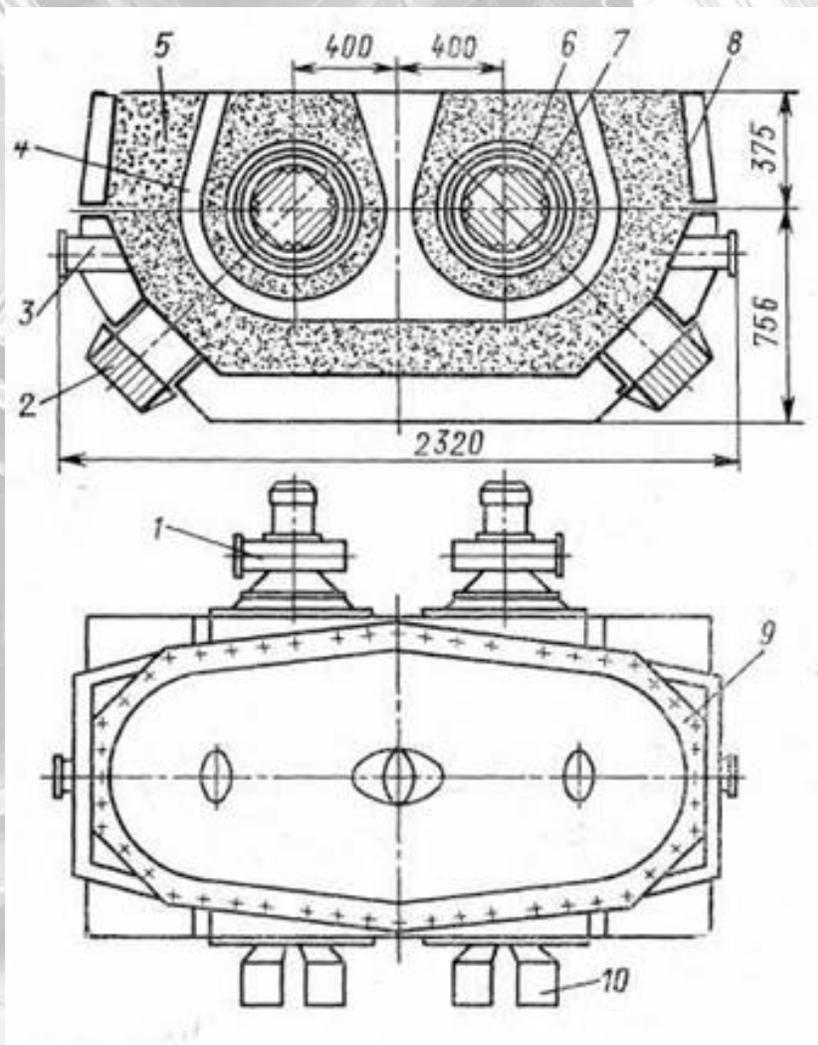
Магнитопровод индукционной единицы собирают из отдельных пластин трансформаторной стали толщиной 0,5 мм. Для уменьшения потерь от вихревых токов отдельные пластины изолированы друг от друга.

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 рисунке 1.9 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.

Рисунок 1.9 – 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. Варианты задания на расчет

Варианты	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

Варианты	Охлаждение	Назначение	Производительность, т/ч	Температура металла, подаваемого в печь, °С	Температура перегрева или плавки, °С
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

Варианты	Охлаждение	Назначение	Производительность, т/ч	Температура металла, подаваемого в печь, °С	Температура перегрева или плавки, °С
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. $\cos\phi$ для Zn и Cu принимать такими же, как для Al.

3. Методика расчета

- **Полезная тепловая мощность, передаваемая жидкому металлу, кВт**

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

где $q_{\text{теор}}$ – теоретический удельный расход энергии на перегрев металла на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, кВт·ч/т (см. таблицу 1.1);

Δt – температура перегрева металла, $^{\circ}\text{C}$;

$П$ – производительность печи, т/ч.

➤ **Активная мощность печи, кВт**

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

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

➤ **Активная мощность индукционной единицы, кВт**

$$P_{\text{а.инд}} = \frac{P_a}{N},$$

где N – число индукционных единиц на печи.

➤ Глубина проникновения тока в жидкий металл, м

$$\Delta_{\text{э}} = 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}},$$

где ρ – удельное электрическое сопротивление жидкого металла, Ом·м
(см. таблицу 1.2);

μ - относительная магнитная проницаемость выплавляемого металла;

f – частота питающего тока, Гц.

➤ **Форма поперечного сечения канала**

Для расчета принимается канал прямоугольной формы со следующими параметрами:

ширина канала, мм

$$b_k = \Delta_{\text{э}};$$

высота канала, мм

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

радиус закруглений принять $r_k = 20$ мм. Тогда **площадь поперечного сечения канала, мм²**

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

➤ Сечение магнитопровода, см²

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

где Ψ - 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/мм² (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).

- Диаметр сердечника магнитопровода, мм

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

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

- 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.

- **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.

- **Средний диаметр канала, мм**

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

➤ **Длина канала, мм**

Под длиной канала подразумевается длина замкнутого контура, проходящего как по самому каналу, так и по ванне печи (рисунок 1.10). 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

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

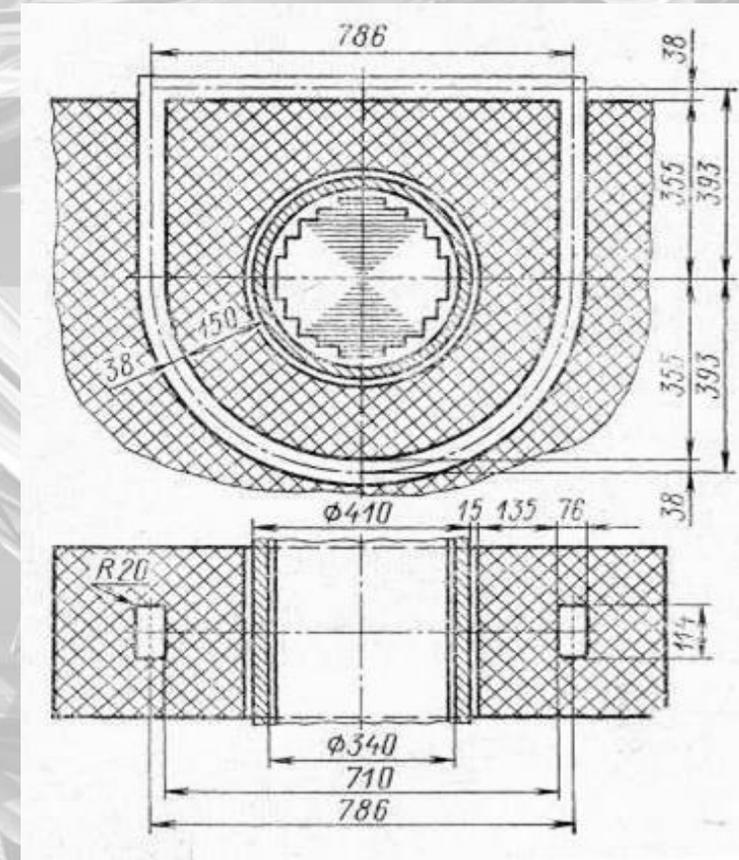


Рисунок 1.10 – К расчету размеров индукционной единицы каналной печи

- **Активное сопротивление канала, Ом**

$$R = \rho \frac{l_k}{S_k}.$$

- **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_{k-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. $R_2 = b_k/2$.

Внутренняя индуктивность определяется для пространства, занимаемого самим каналом, Гн

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

Для принятой формы канала (см. рисунок 1.10) внешняя индуктивность его отдельных участков различна (рисунок 1.11). Необходимые параметры различных участков канала для расчета внешней индуктивности представлены в таблице 1.3.

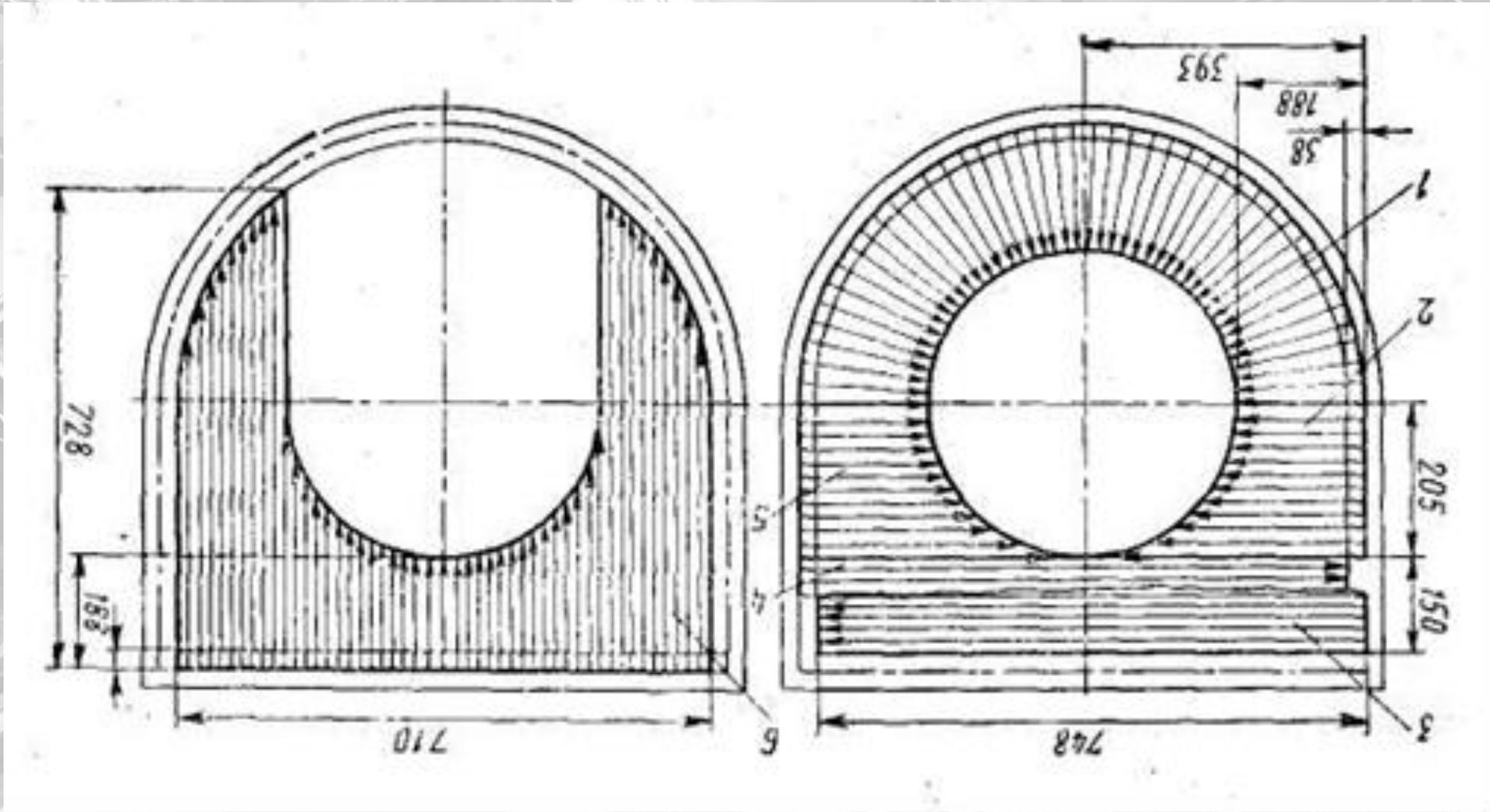


Рисунок 1.11 – К расчету индуктивности канала

Таблица 1.3 – К расчету внешней индуктивности участков канала

Участок канала	Характеристики участка	
	l_{k-1}	R_1
Криволинейный (см. рисунок 2.5, поз. 1)	$\frac{\pi d_{\text{к.ср.}}}{2}$	$\frac{d_{\text{к.ср.}} - d_{\text{кат.}}}{2}$
Вертикальные (см. рисунок 2.5, поз. 2 и 5)	$\frac{d_{\text{кат.}}}{2}$	$\frac{d_{\text{к.ср.}} - 0,5d_{\text{кат.}}}{2}$
Вертикальные (см. рисунок 2.5, поз. 3 и 4)	$\frac{d_{\text{к.ср.}} - b_{\text{к}} - d_{\text{кат.}}}{2}$	$d_{\text{к.ср.}} - \frac{b_{\text{к}}}{2}$
Горизонтальный (см. рисунок 2.5, поз. 6)	$d_{\text{к.ср.}}$	$\frac{d_{\text{к.ср.}} - d_{\text{кат.}}}{4} + \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{d_{\text{к.ср.}}}{2}\right)^2 - \left(\frac{d_{\text{кат.}}}{2}\right)^2}$

Общая индуктивность канала, Гн

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

➤ Индуктивное сопротивление канала, Ом

$$X_{\text{л}} = 2\pi f L_{\text{к}}.$$

➤ Полное сопротивление канала, Ом

$$Z = \sqrt{R^2 + X_{\text{л}}^2}.$$

➤ Активное напряжение в канале, В

$$U_{\text{а.к}} = \sqrt{P_{\text{а.инд}} R}.$$

- **cosφ канала**

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

- **Полное напряжение в канале, В**

$$U_{\text{к}} = \frac{U_{\text{а.к}}}{\cos \varphi}.$$

- **Полная мощность индукционной единицы, кВ·А. Пренебрегая потерями в первичной катушке и магнитопроводе**

$$P_{\text{инд}} = \frac{P_{\text{а.инд}}}{\cos \varphi}.$$

- Реактивная мощность индукционной единицы, квар

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

- Полная мощность печи, кВ·А

$$P = NP_{\text{инд}}.$$

- Реактивная мощность печи, квар

$$P_{\text{р}} = NP_{\text{р.инд}}.$$

- 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.

- Ток в первичной катушке, А

$$I_1 = \frac{P_{\text{инд}}}{U_1}.$$

- Поперечное сечение витка первичной катушки, мм²

$$S_{\text{ВИТ}} = \frac{I_1}{j_1},$$

где j_1 — допустимая плотность тока в катушке, А/мм².

- 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.

➤ **Высота витка катушки, мм**

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

➤ **Длина первичной катушки, мм**

$$l_{\text{кат}} = \frac{(h_{\text{ВИТ}} + h_{\text{ИЗОЛ}})W}{k_{\text{сл}}},$$

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.

4. Контрольные вопросы

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



Практическая работа № 1.3



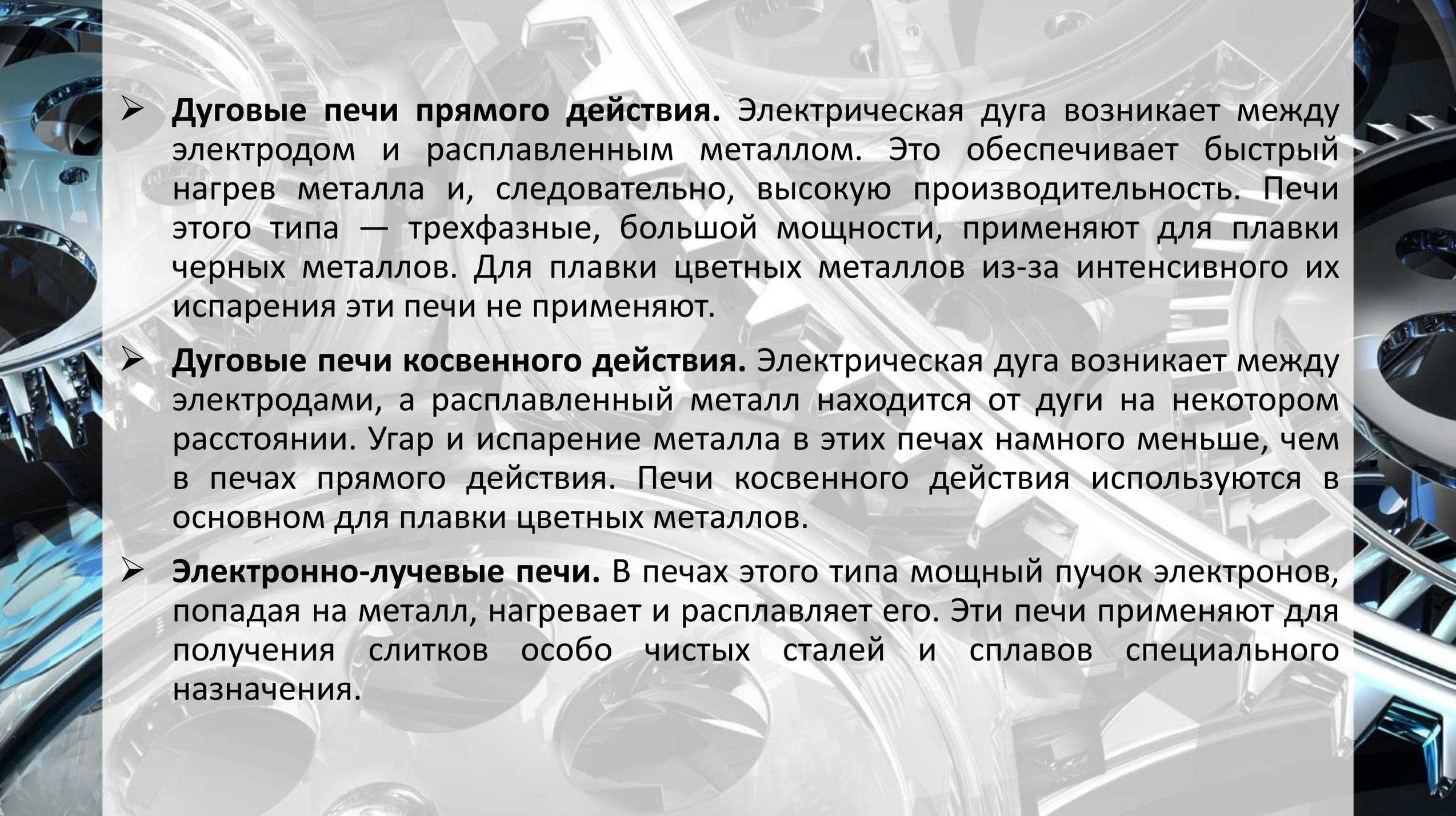
Расчет дуговой плавильной печи

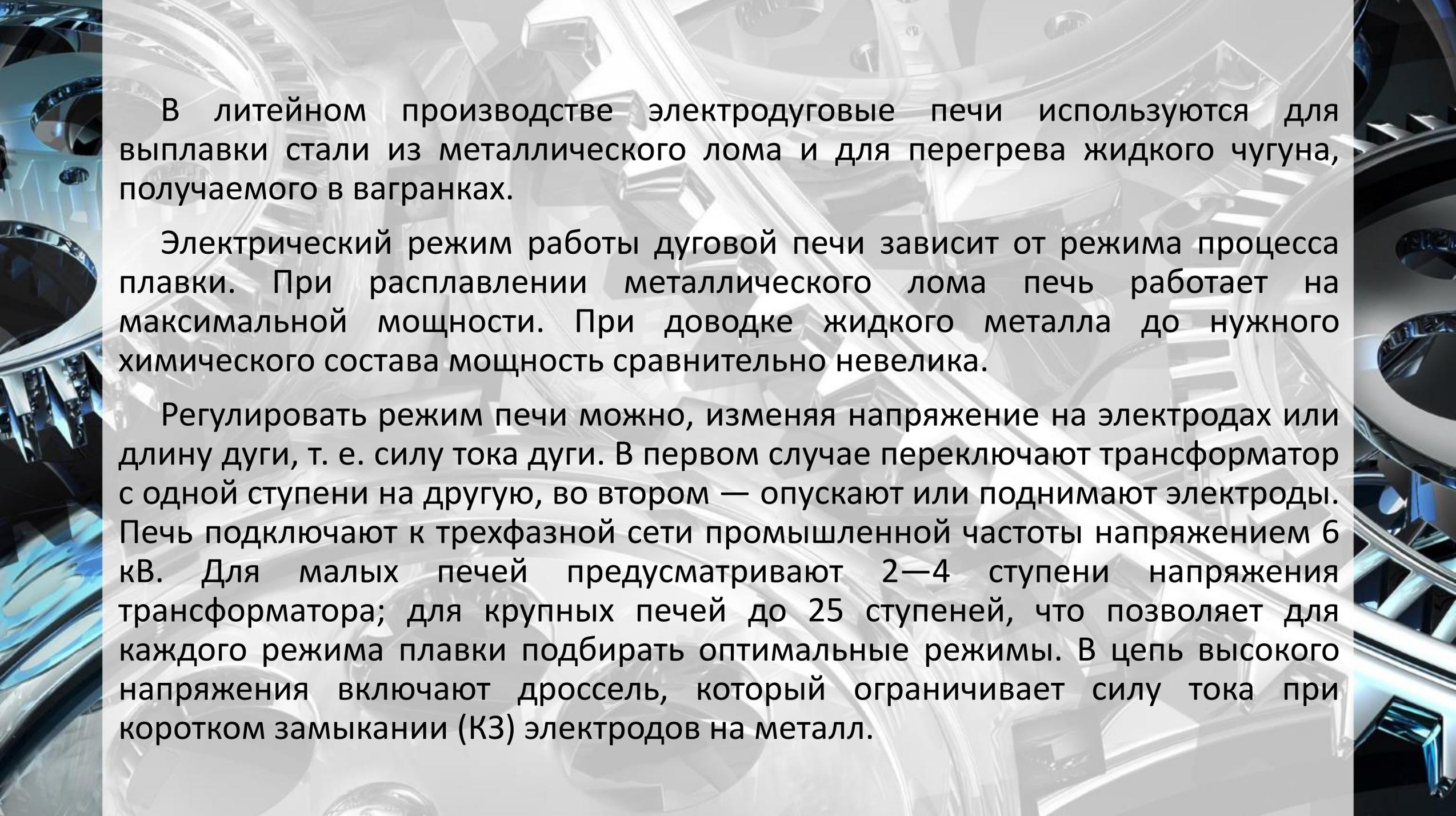
1. Общие сведения

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.

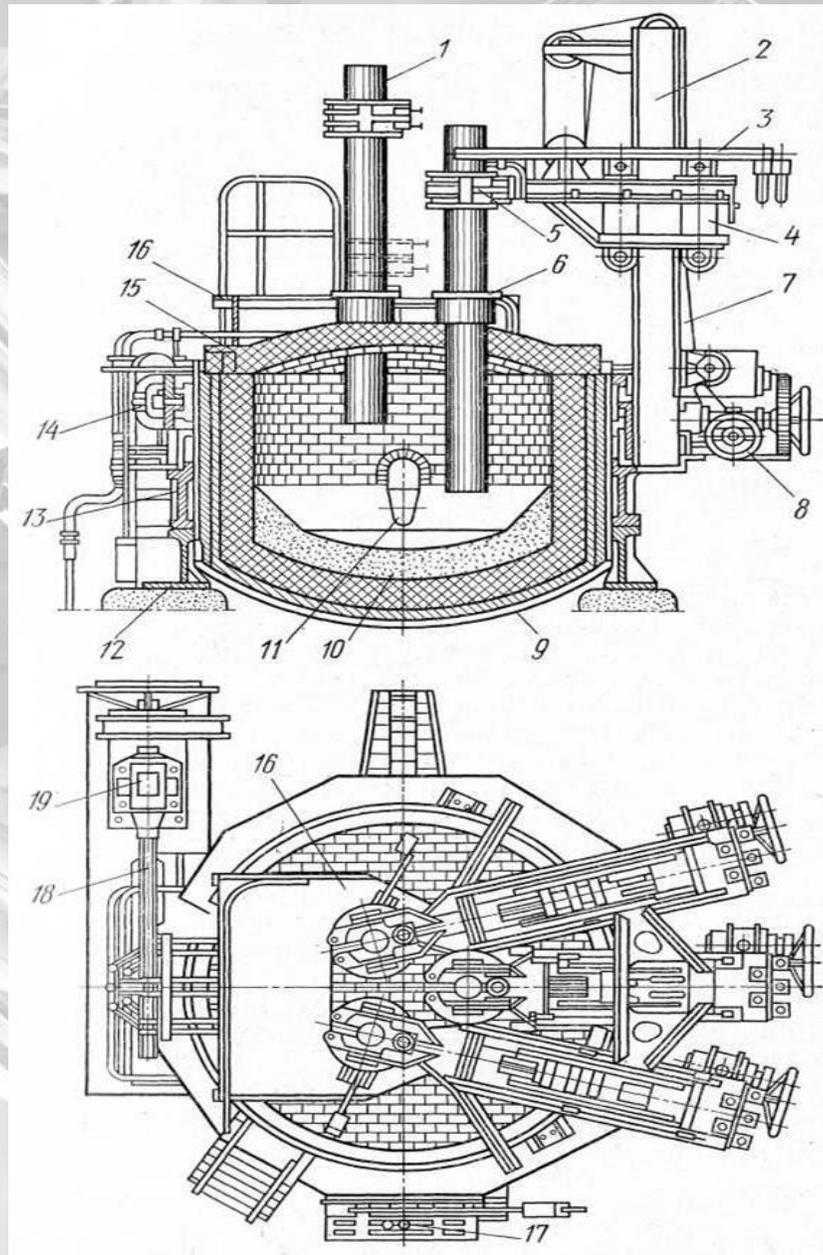
Электрический режим работы дуговой печи зависит от режима процесса плавки. При расплавлении металлического лома печь работает на максимальной мощности. При доводке жидкого металла до нужного химического состава мощность сравнительно невелика.

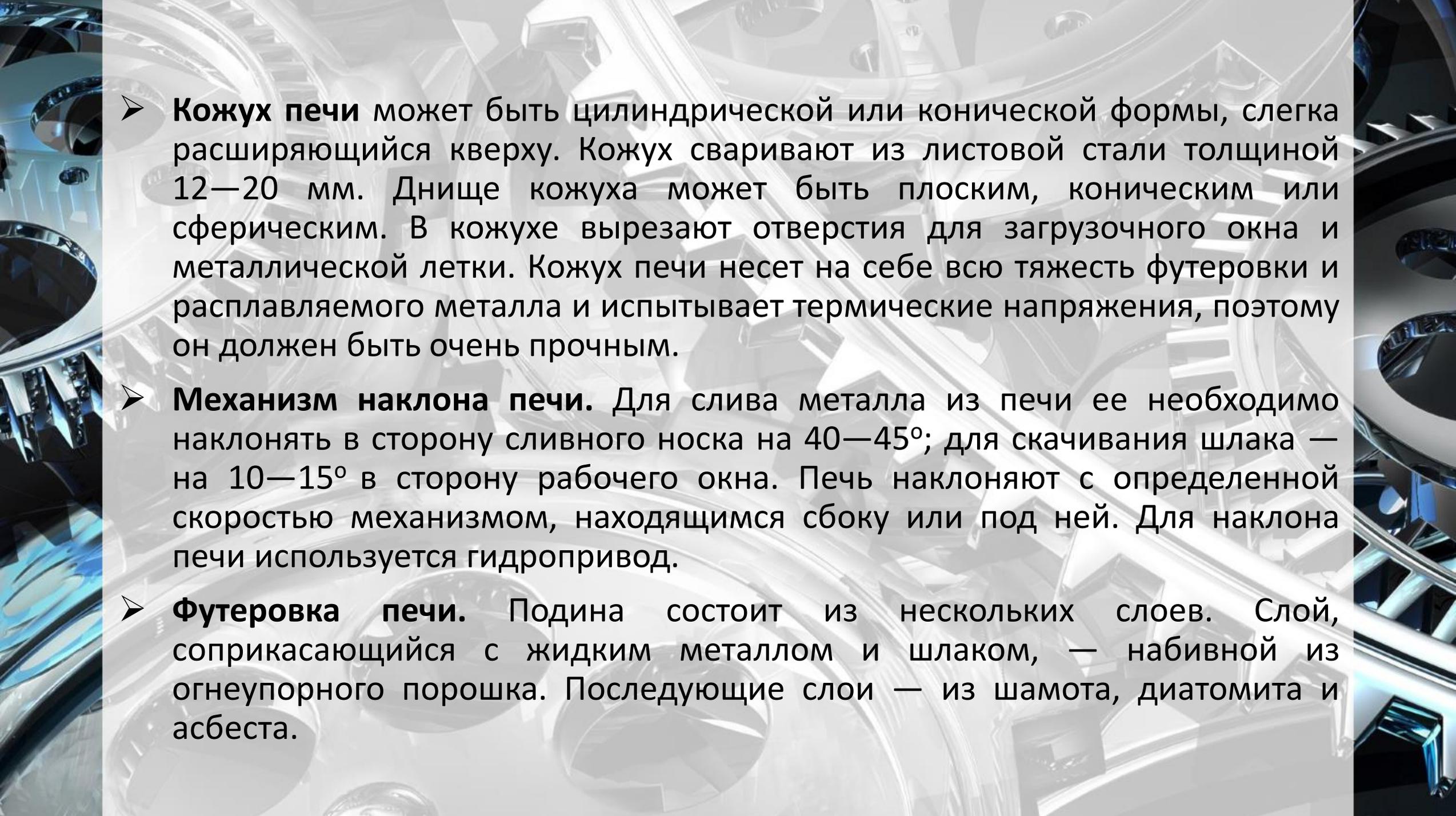
Регулировать режим печи можно, изменяя напряжение на электродах или длину дуги, т. е. силу тока дуги. В первом случае переключают трансформатор с одной ступени на другую, во втором — опускают или поднимают электроды. Печь подключают к трехфазной сети промышленной частоты напряжением 6 кВ. Для малых печей 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.

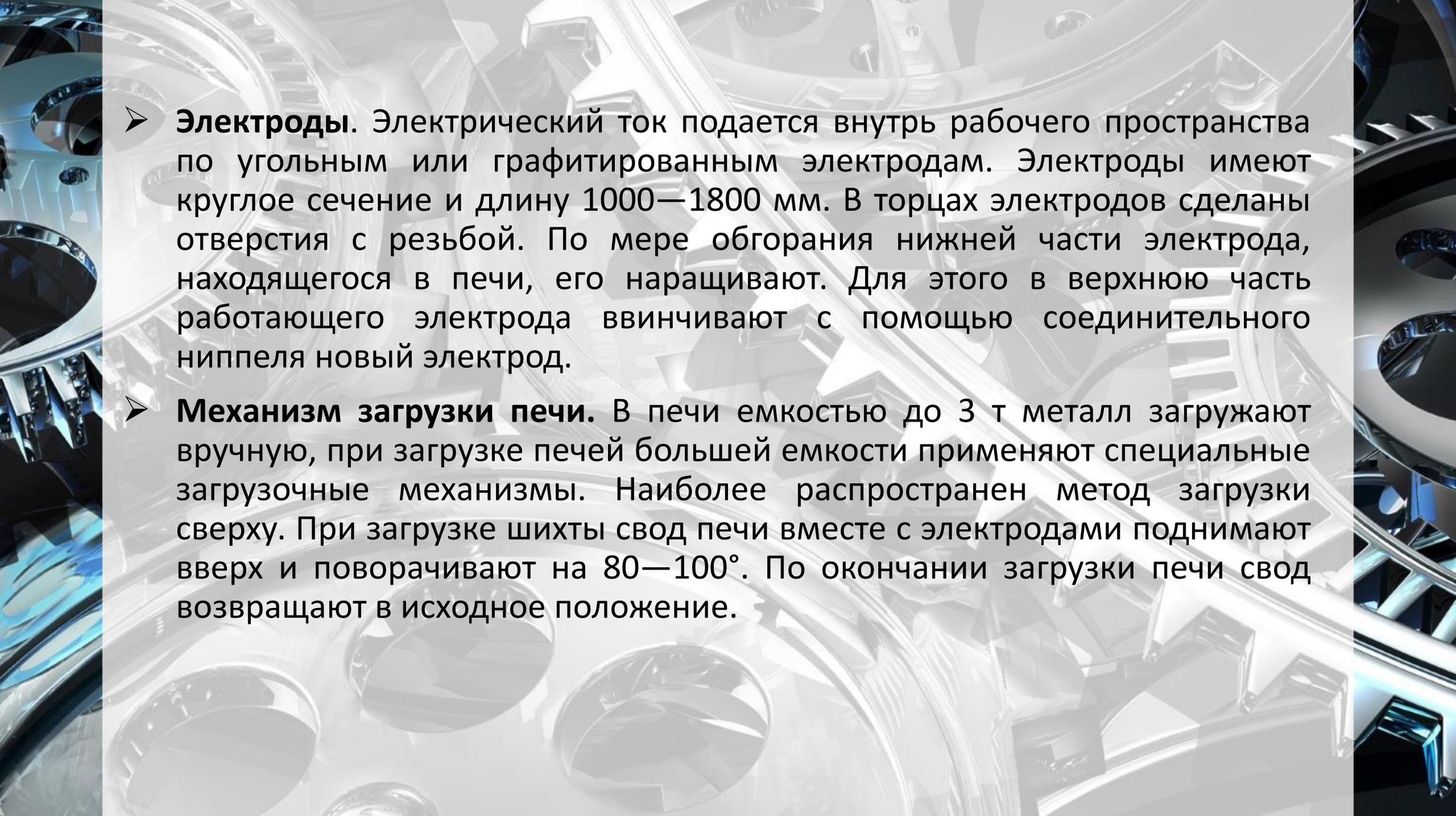
На рисунке 1.12 изображена дуговая электропечь емкостью 3 т. Печь состоит из узлов: стального кожуха (каркаса), механизма наклона, футеровки (под стены и свод), электродов и механизма перемещения электродов.

Рисунок 1.12 – 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. Electrodes 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.

2. Варианты задания на расчет

Варианты	Емкость, т	Производительность, т/ч	Варианты	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	-	-	-

3. Методика расчета

➤ Мощность трансформатора, кВ·А

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

где $W_{\text{теор}}$ – удельный расход электроэнергии на расплавление, кВт·ч/т (см. таблицу 1.1);

Π – производительность печи, т/ч;

η – КПД печи, равный 0,5—0,7;

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности печной установки, равный 0,8—0,9.

- 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.
- **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.

- **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/м², $j = (15—25) \cdot 10^4$.

- 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.

- Диаметр ванны на уровне порога рабочего окна, м

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

где ρ — плотность жидкого металла, т/м³ (см. таблицу 1.1).

- 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.

- Высота плавильного пространства печи, м

$$H_1 = (0,5—0,6)D_1.$$

- Толщина футеровки пода, м

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

➤ Диаметр кожуха печи при толщине огнеупорного слоя стены, м

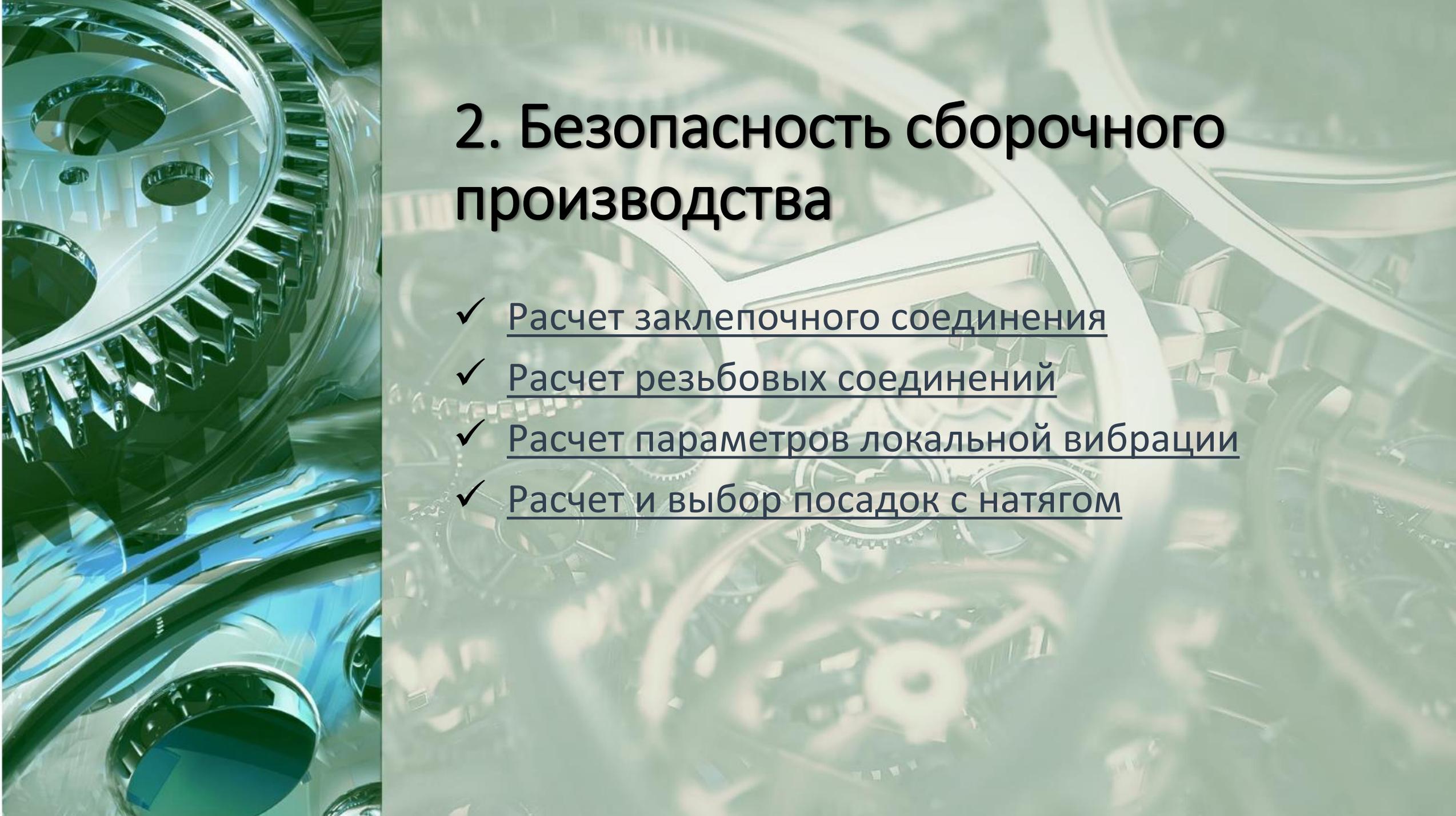
$$D_{\text{кож}} = D_1 + 2(s_0 + s_T),$$

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_T – толщина теплоизоляционного слоя стен, м ($s_T = 0,1$ м для печей емкостью 0,5—1,5 т; $s_T = (0,1—0,15)$ м для 3 – 10 т; $s_T = (0,15—0,2)$ м для 15—40 т).

4. Контрольные вопросы

- Каков принцип работы дуговой плавильной печи?
- Перечислите виды дуговых печей и опишите их.
- От чего зависит электрический режим работы дуговой печи?
- Опишите основные узлы дуговой плавильной печи.
- Каковы основные требования безопасности при обслуживании индукционных печей?



2. Безопасность сборочного производства

- ✓ Расчет заклепочного соединения
- ✓ Расчет резьбовых соединений
- ✓ Расчет параметров локальной вибрации
- ✓ Расчет и выбор посадок с натягом

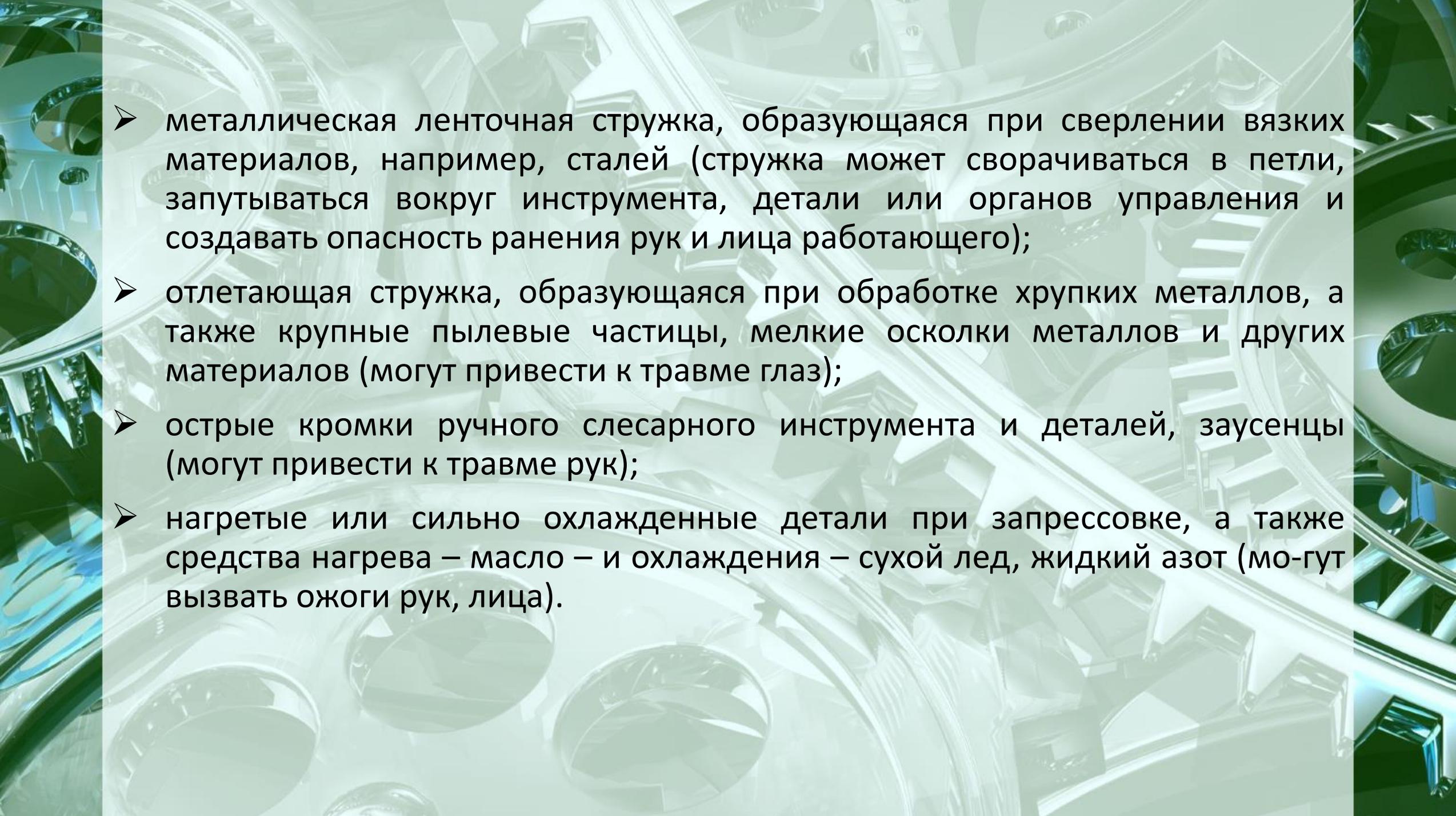
Введение

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:

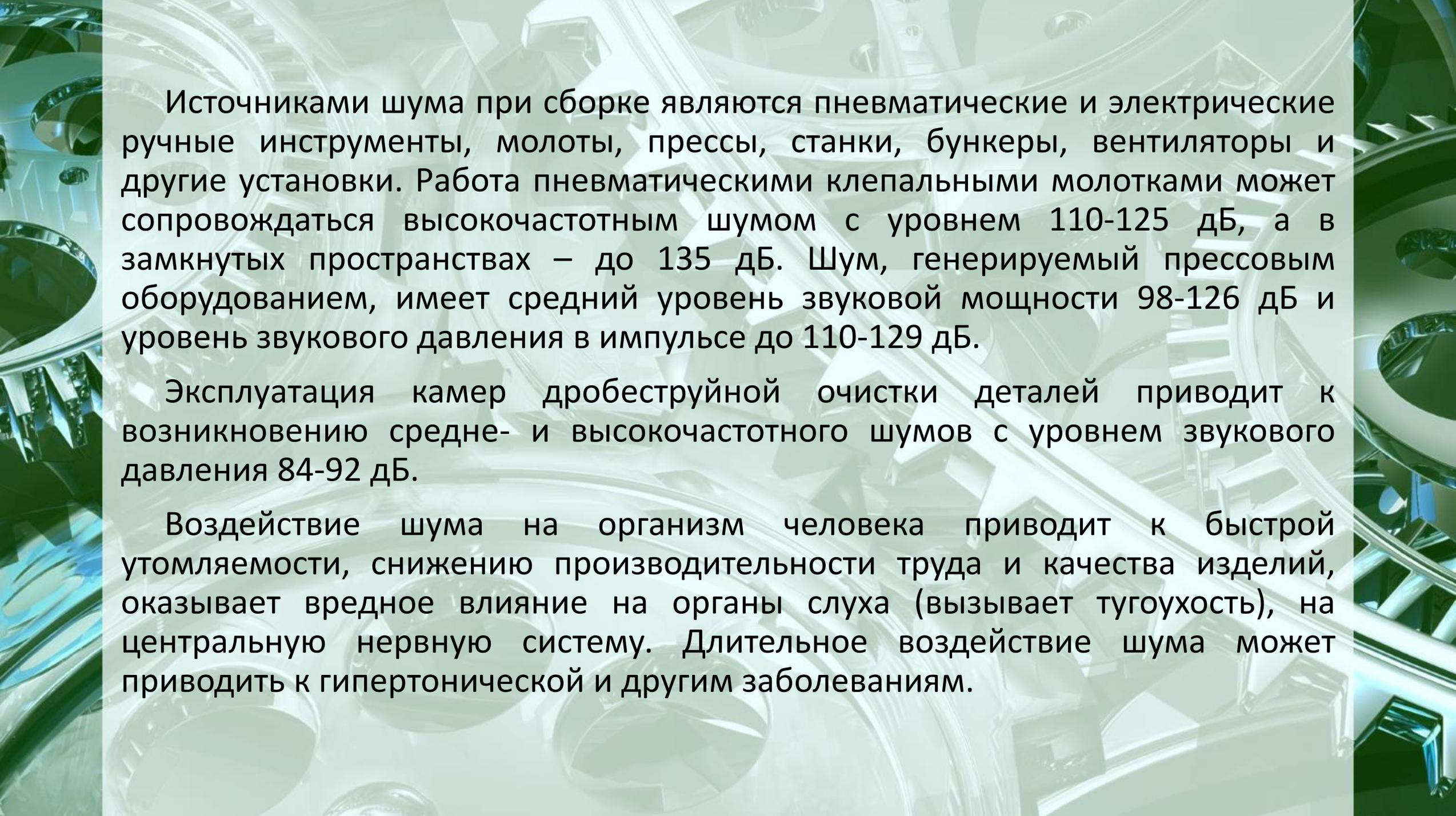
- подвижные элементы оборудования, подъемно-транспортные устройства, транспортные средства, конвейеры, поворотные столы, промышленные роботы и манипуляторы, перемещаемые грузы, пневмо- и электроинструменты, рабочие инструменты ручных машин, особенно быстро вращающиеся сверла, абразивные круги, способные 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, токоведущие 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.

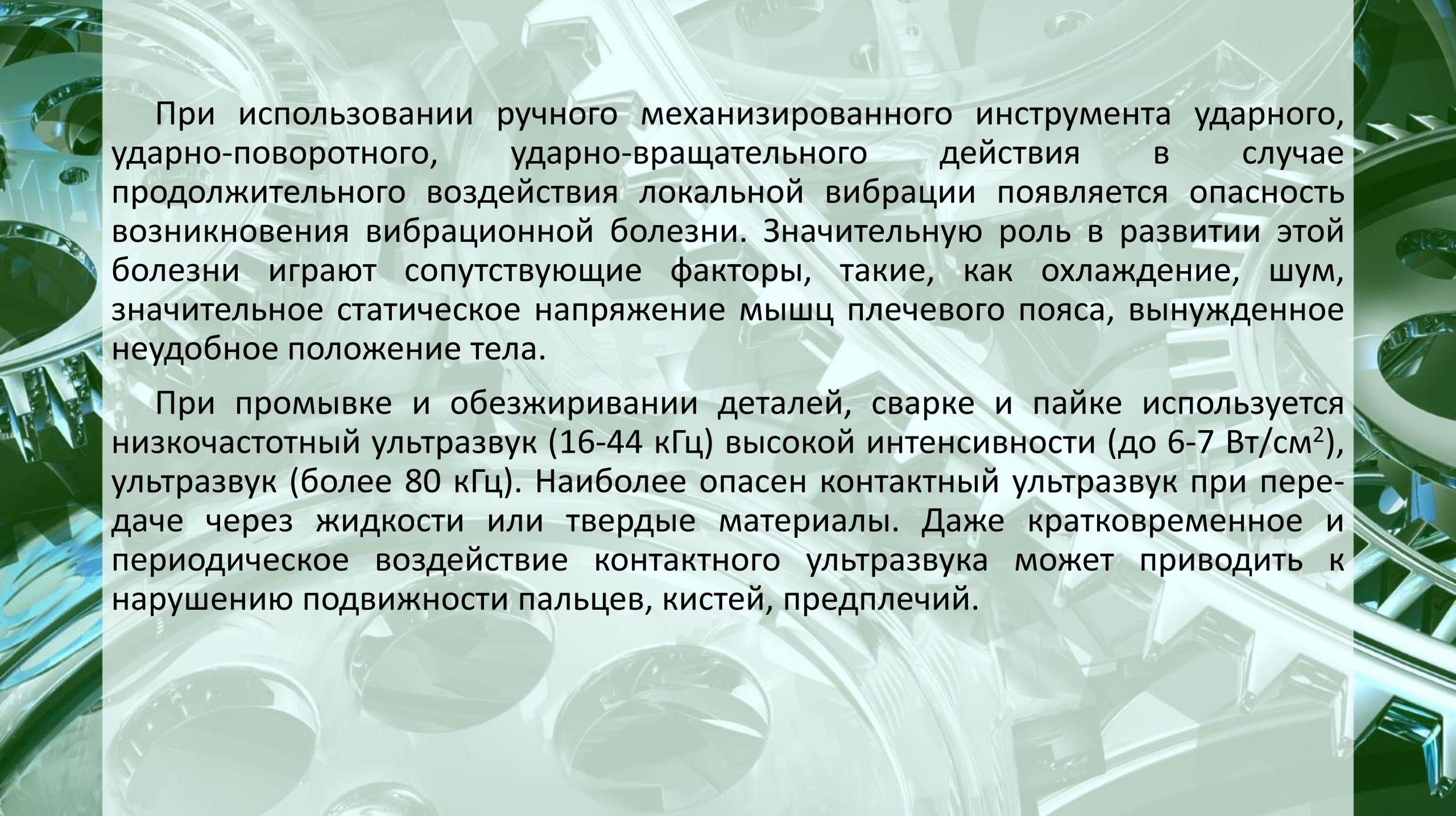
К основным вредным производственным факторам при выполнении сборочных работ относятся: шум и вибрация, создаваемые ручным механизированным инструментом, клепальными машинами, испытательными стендами, пневматическими устройствами, вибробункерами сборочных машин и т.д., ультразвук, различного вида пыль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

The background of the slide features a complex, monochromatic image of mechanical gears and machinery. The gears are rendered in shades of light green and white, creating a sense of depth and movement. The overall aesthetic is technical and industrial, with a focus on the intricate details of the mechanical components.

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/см²), 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.



Практическая работа № 2.1

Расчет заклепочного соединения

1. Общие сведения

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 (рисунок 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.

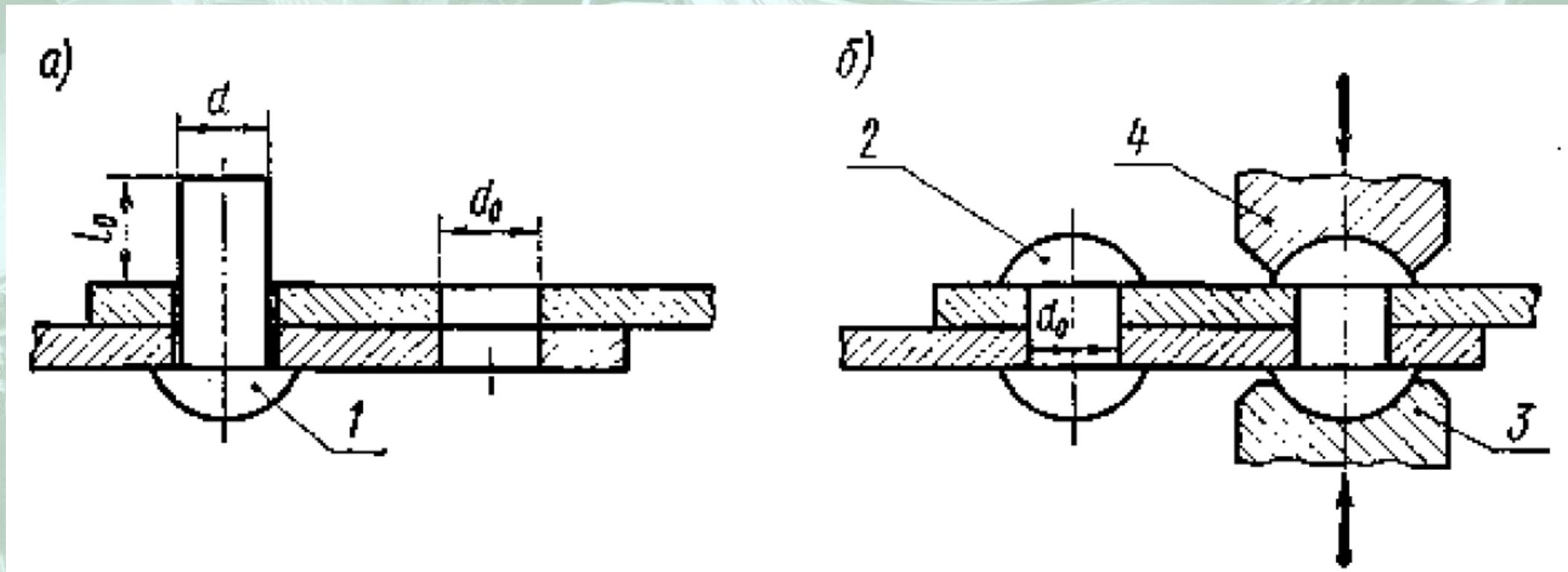
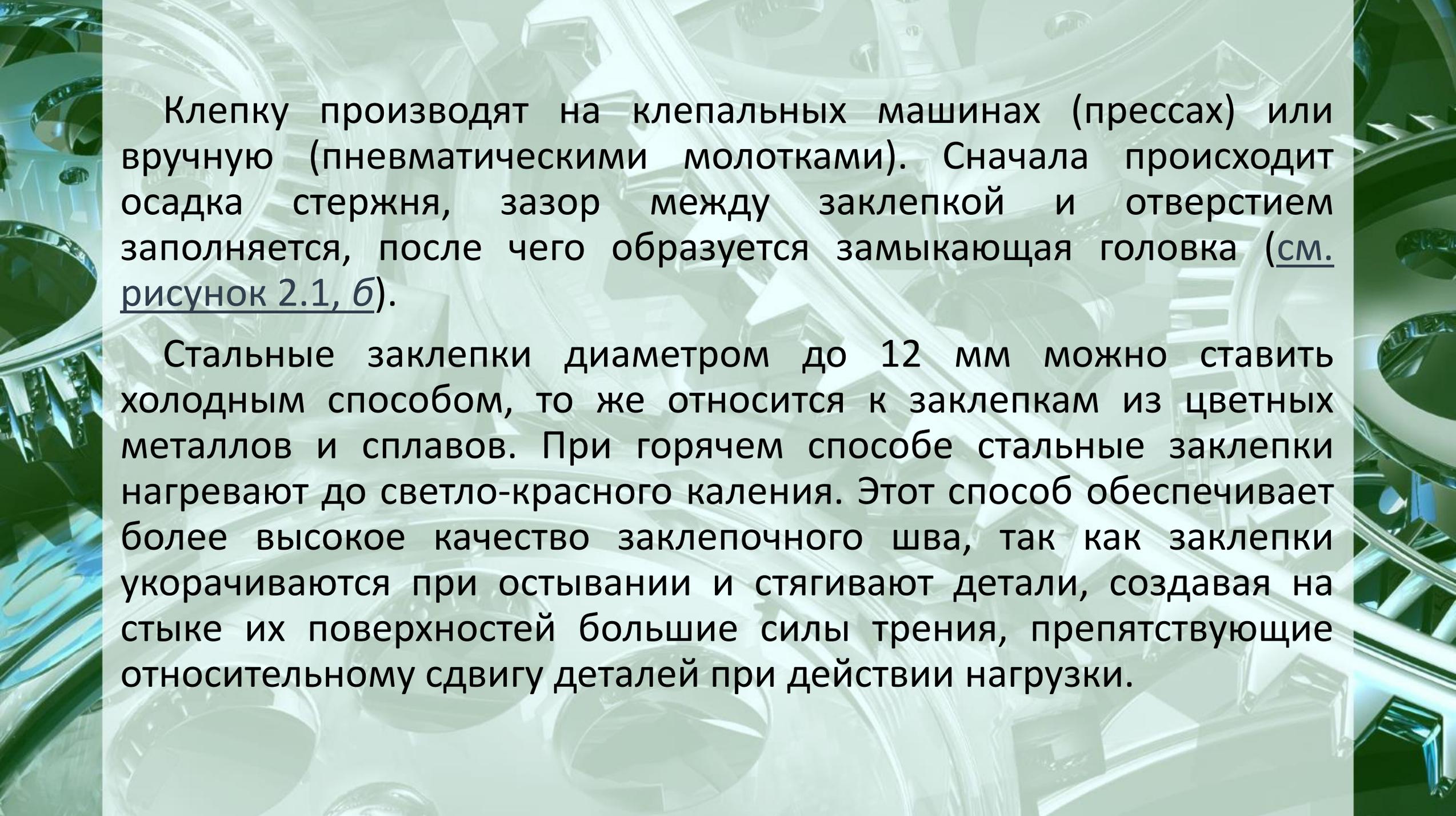


Рисунок 2.1 – Образование заклепочного шва: а – закладка заклепки; б – клепка
(1 – закладная головка; 2 – замыкающая головка; 3 – поддержка; 4 – обжимка)



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. рисунок 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 относительно сдвигу деталей при действии нагрузки.

Достоинства и недостатки заклепочных соединений

Достоинства

- Высокая надежность соединения.
- Удобство и надежность контроля качества шва.
- Хорошая сопротивляемость вибрационным и ударным нагрузкам.

Недостатки

- Высокая 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 (рисунок 2.2, *а*).

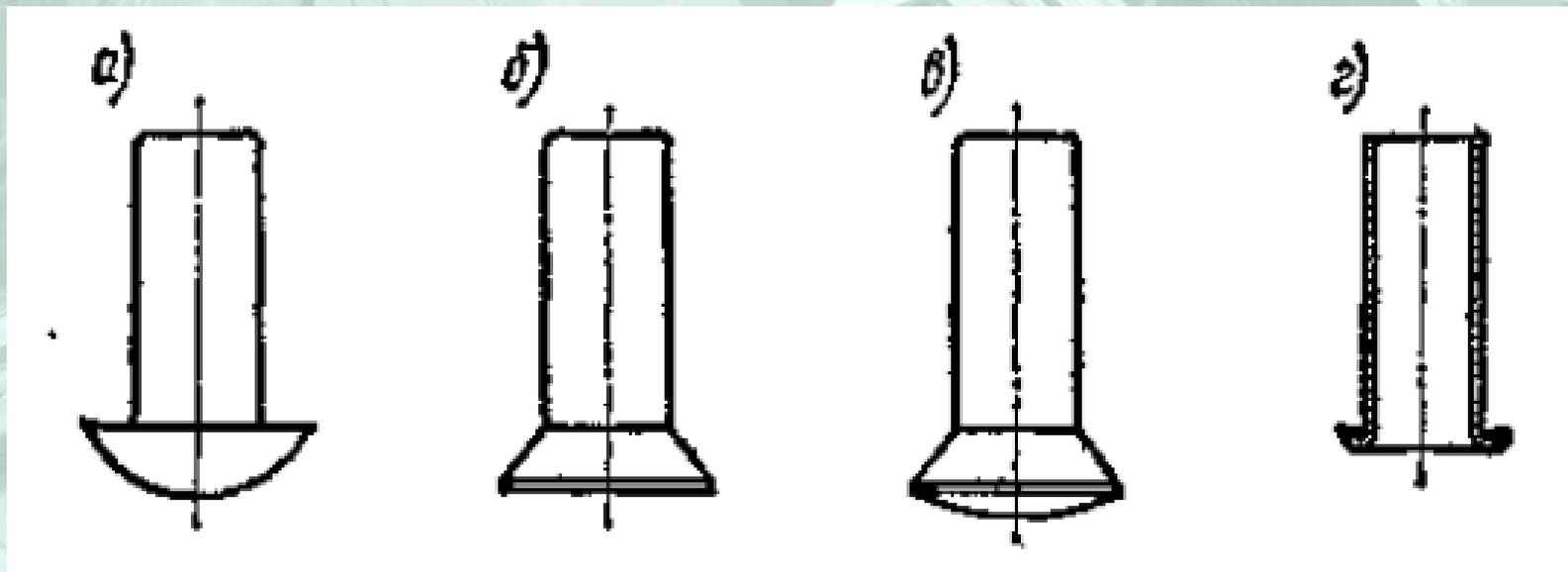
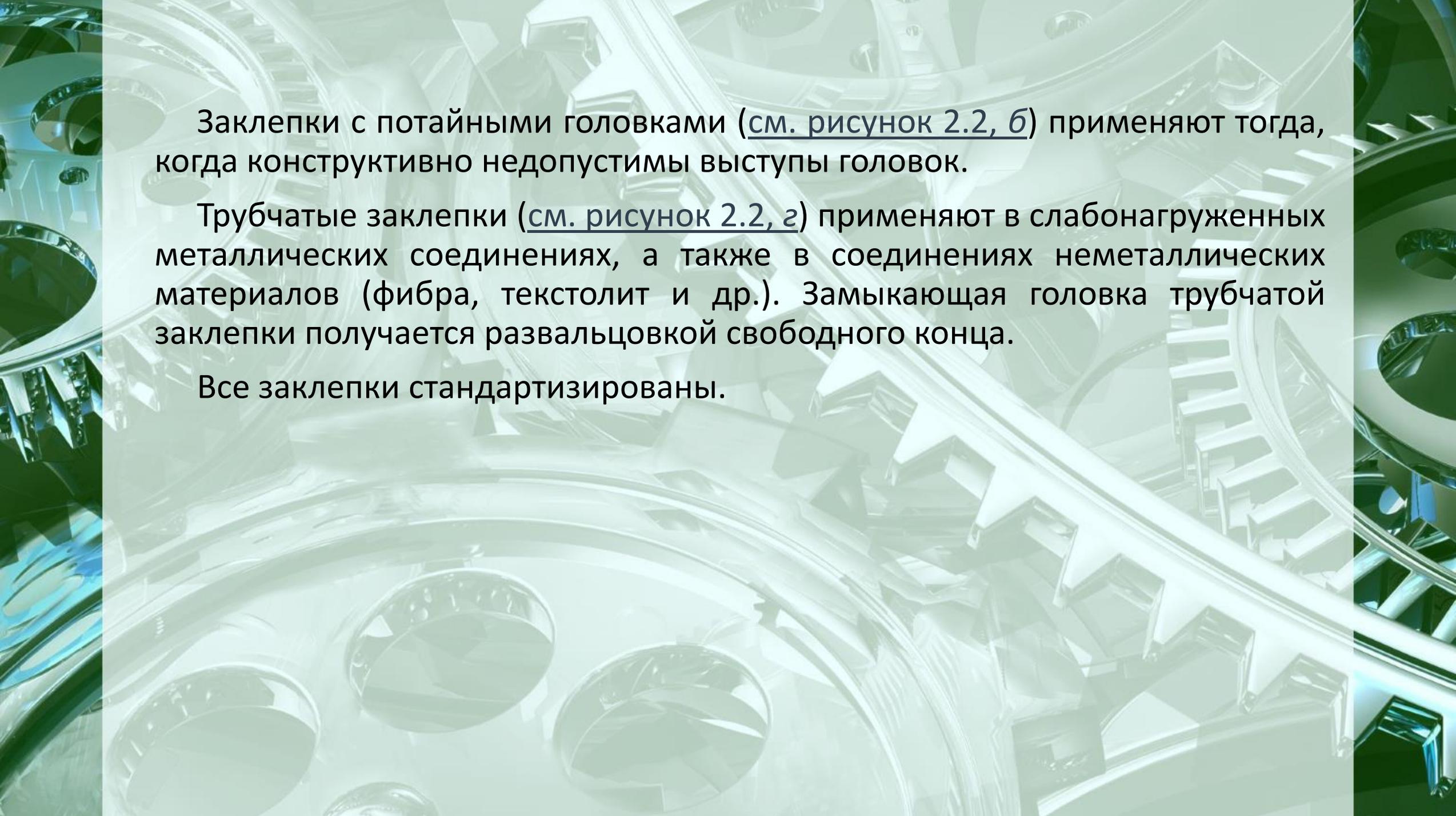


Рисунок 2.2 – Основные типы заклепок:
а – с полукруглой головкой; *б* – с потайной головкой; *в* – с полупотайной головкой; *г* – трубчатая



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

Трубчатые заклепки (см. рисунок 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 стандартизированы.

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* (рисунок 2.3) и *встык, с одной* (рисунок 2.4) или *с двумя* (рисунок 2.5) накладками.

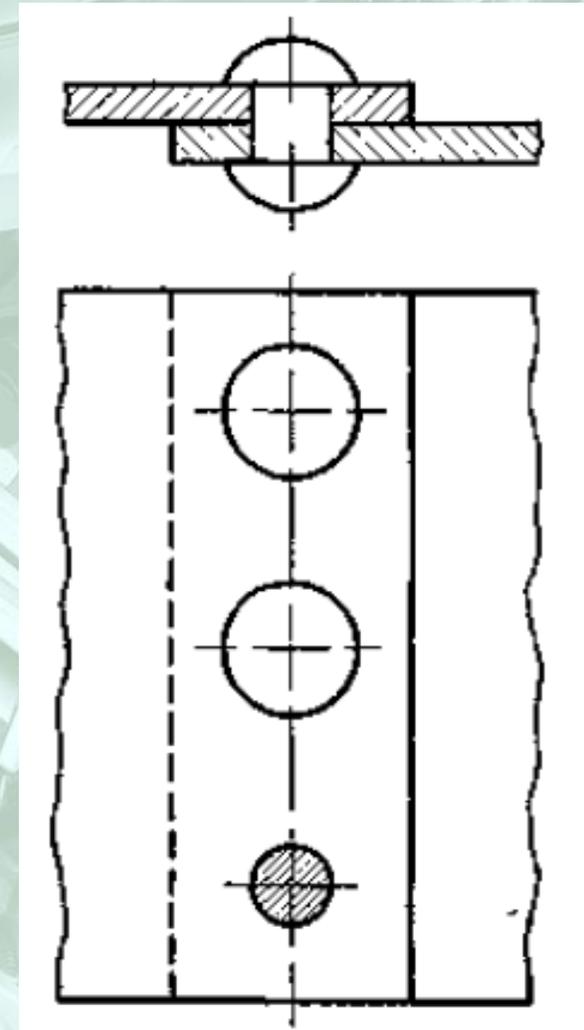


Рисунок 2.3 – Однорядный односрезный заклепочный шов внахлестку

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

Для швов встык число рядов учитывается по одну сторону стыка.

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

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

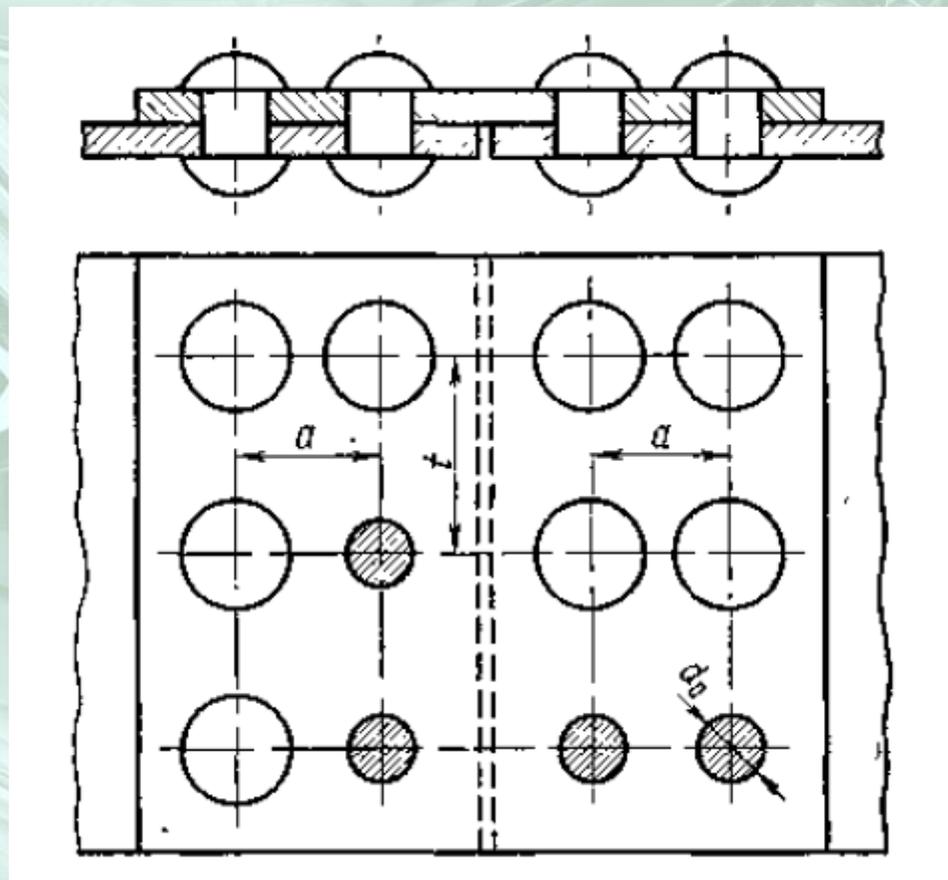


Рисунок 2.4 – Двурядный односрезный параллельный заклепочный шов с одной накладкой

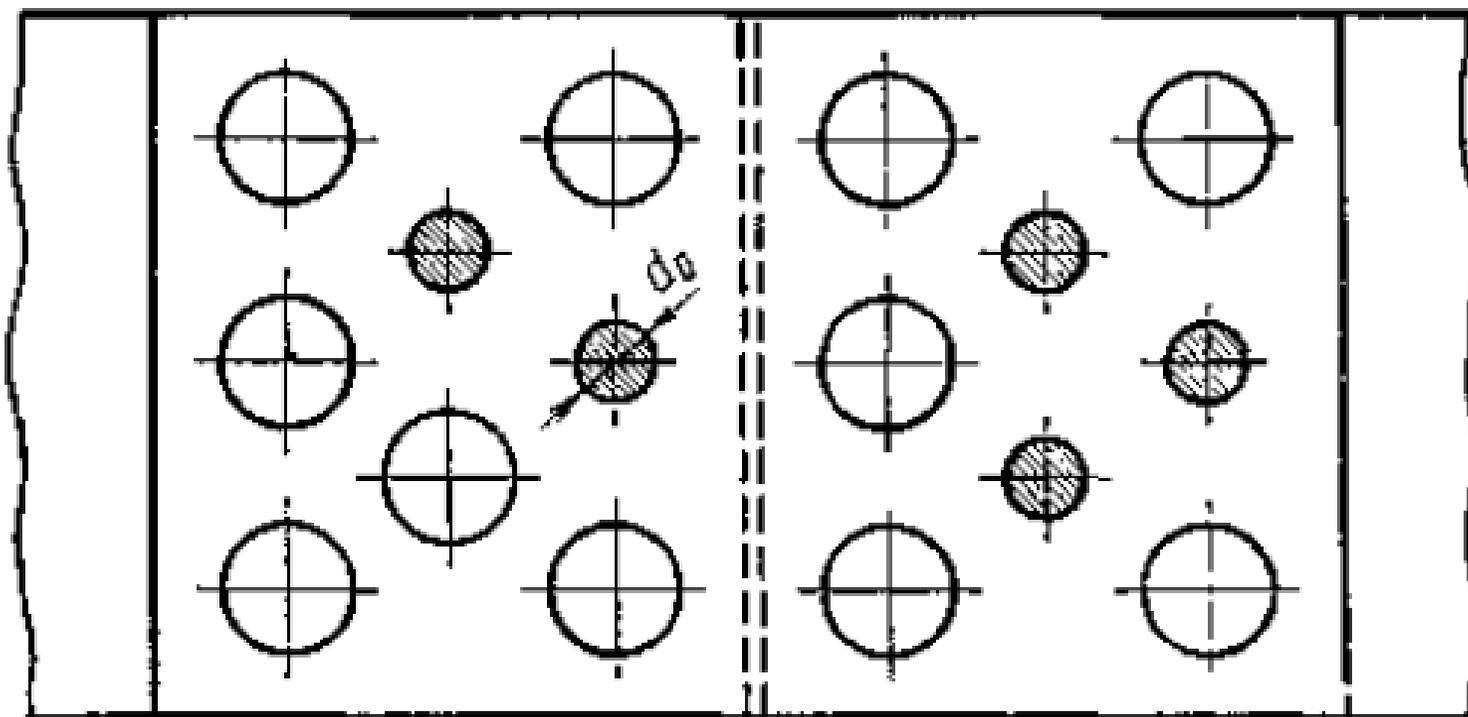
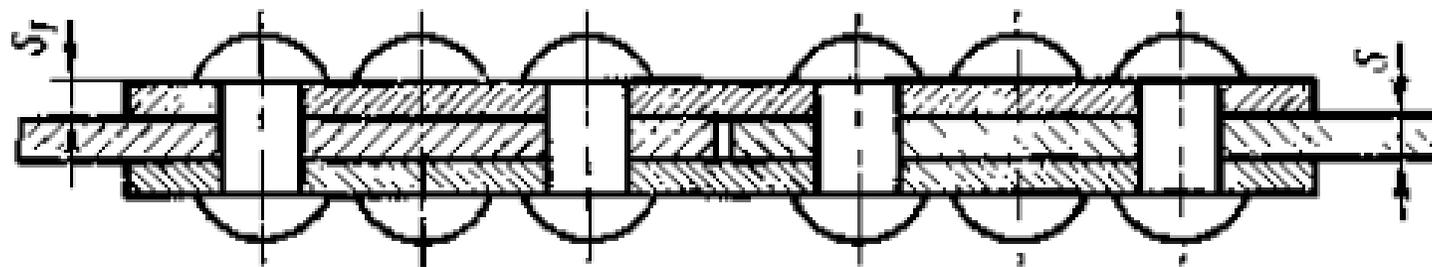


Рисунок 2.5 – Многорядный двухсреэный шахматный заклепочный шов с двумя накладками

Основными материалами склепываемых деталей являются малоуглеродистые стали Ст. 0, 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 температуры.
- 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 высадочных автоматах из прутков малоуглеродистых сталей Ст.2, Ст.3, Юкп, 20кп, из сплавов цветных металлов Л62, М3, АД1 и др.

2. Варианты задания на расчет

№ вар.	Сила F , кН	Материал заклепок	Материал полосы	Толщина полосы δ , 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.

№ вар.	Сила F , кН	Материал заклепок	Материал полосы	Толщина полосы δ , мм	Вид нагружения	Способ изготовления отверстий	Вид клепки
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.

3. Методика расчета

Задание.

Спроектировать двухрядное заклепочное соединение внахлестку, нагруженное силой F (рисунок 2.6). Толщина соединяемых полос δ .

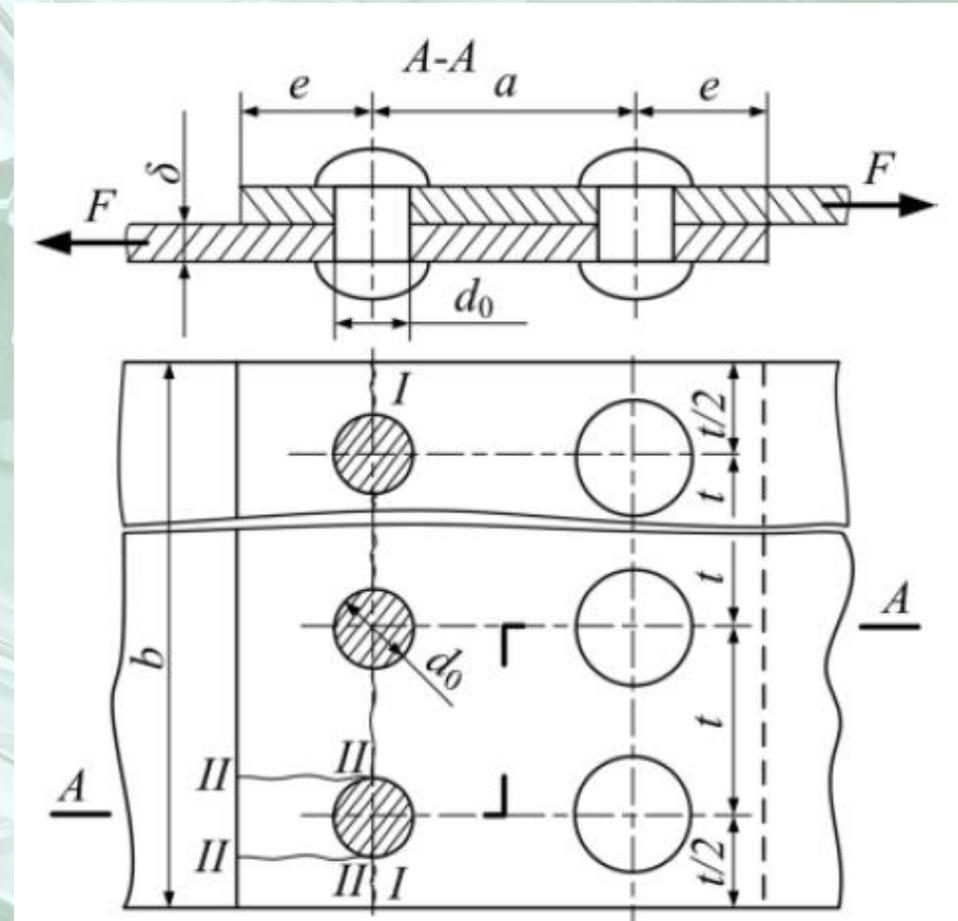


Рисунок 2.6 – Эскиз двухрядного заклепочного соединения

- Необходимая площадь сечения соединяемых листов, ослабленных отверстиями под заклепки, м²

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

где φ_{\min} – минимальный коэффициент прочности клепаного соединения (для двухрядного шва внахлестку $\varphi_{\min} = 0,75$);

$[\sigma]_p$ – допускаемое напряжение растяжения для материала соединяемых деталей, МПа (таблица 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 $[\tau]_{кр}$	-	90	100
Заклепки	Срез $[\tau]_{кр}$	Продавливание	100	100
		Сверление	140	140
Заклепки и склепываемые детали	Смятие $[\sigma]_{см}$	Продавливание	240	280
		Сверление	280	320

➤ Минимальная ширина полосы, м

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

➤ Диаметр отверстий под заклепки, мм

$$d_0 = 2\delta.$$

Далее необходимо подобрать стандартные заклепки со стержнем диаметром $d \approx d_0$ (таблица 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

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

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

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

$$e = 1,65d_0;$$

при продавленных отверстиях

$$e = 2d_0.$$

- Расстояние между рядами заклепок, мм

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

- 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. таблицу 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 δ – меньшая из толщин соединяемых деталей, мм;

$[\sigma]_{\text{см}}'$ – допускаемое напряжения смятия для менее прочного материала: полосы или заклепки (см. таблицу 2.1), МПа.

По большей величине z окончательно принимают число заклепок в соединении.

- **Ширина полосы в зависимости от числа заклепок в каждом ряду, мм**

$$b = nt,$$

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

- **Условие прочности на растяжение**

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

где σ_p – расчетное напряжение в сечении I – I, ослабленном отверстиями в одном ряду (см. рисунок 2.6), МПа;

$[\sigma]_p$ – допускаемое напряжение склепываемых деталей на растяжение (см. таблицу 2.1), МПа.

➤ **Условие прочности на срез**

На срез заклепками проверяют края полосы в сечении II – II (см. рисунок 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. таблицу 2.1), МПа.

➤ Действительное значение коэффициента прочности шва ($\varphi \geq \varphi_{\min}$)

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

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

4. Контрольные вопросы

- Как образуется заклепочный шов? Перечислите основные виды заклепочных швов.
- Охарактеризуйте основные методы изготовления отверстий под заклепки.
- Перечислите основные типы заклепок. Укажите особенности их применения.
- Перечислите основные достоинства и недостатки заклепочных соединений.
- Какие основные требования предъявляются к материалу заклепки?



Практическая работа № 2.2

Расчет резьбовых соединений

1. Общие сведения

Резьбовые соединения являются наиболее распространенными разъемными соединениями. Их образуют болты, винты, гайки и другие детали 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 (рисунок 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 (рисунок 2.8).

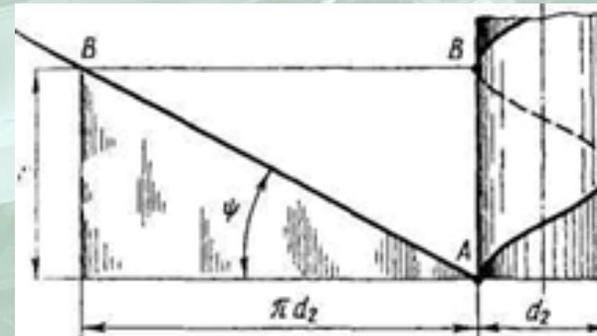


Рисунок 2.7 – Образование винтовой линии

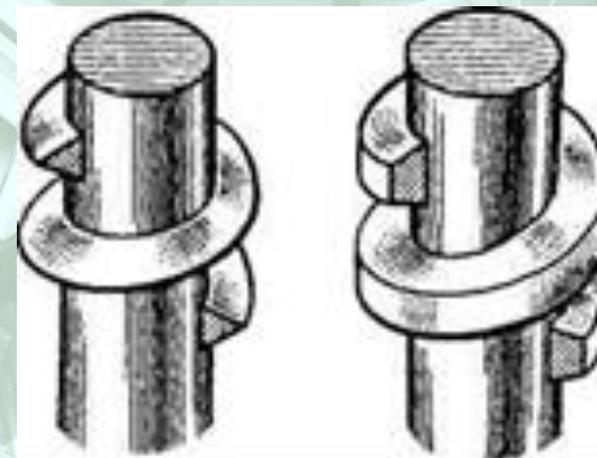


Рисунок 2.8 – Образование резьбы

Классификация резьб

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

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

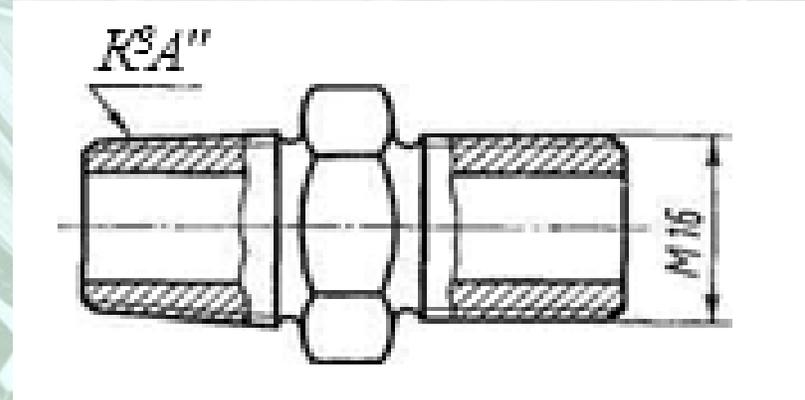


Рисунок 2.9 – Пример конической (слева) и цилиндрической (справа) резьбы

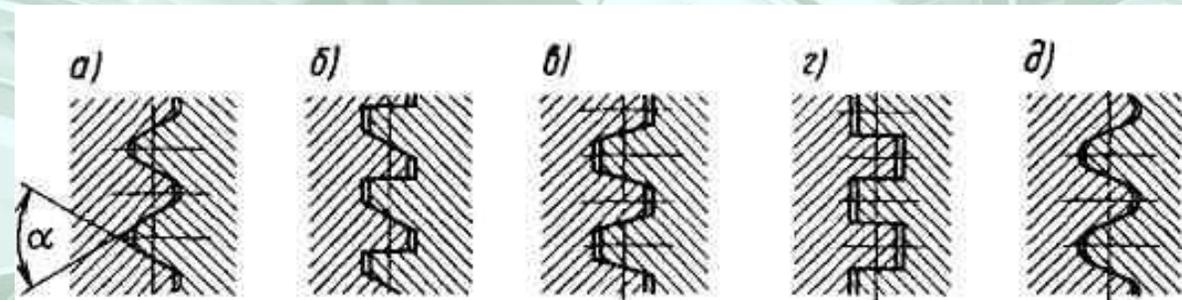


Рисунок 2.10 – Профили резьб: а – треугольная; б – упорная; в – трапецеидальная; г – прямоугольная; д - круглая

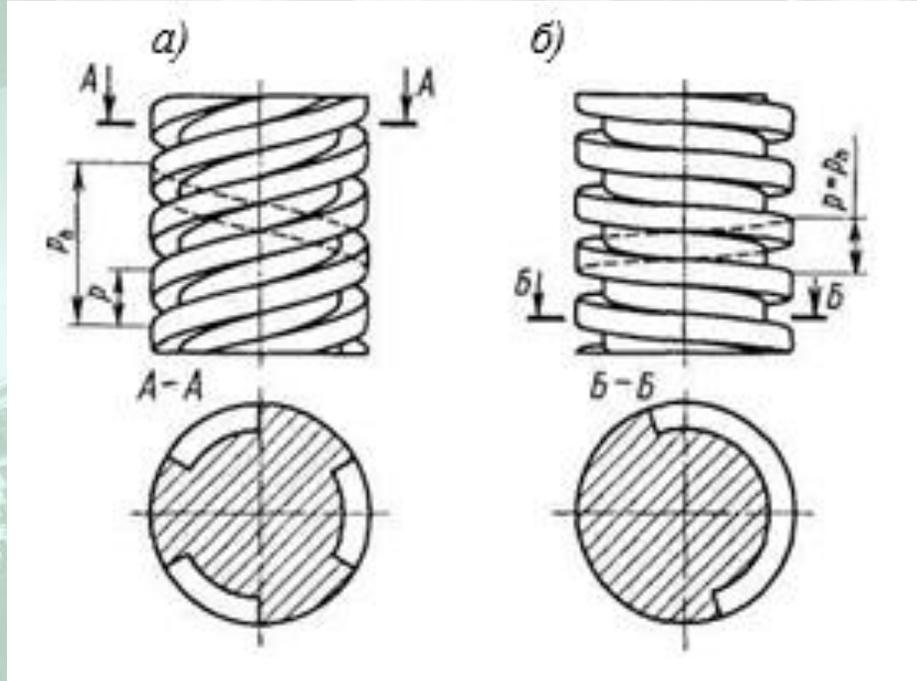


Рисунок 2.11 – Винты с правой трехзаходной (а) и левой однозаходной (б) резьбой

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

В зависимости от числа заходов резьбы делят на *однозаходные* (см. рисунок 2.11, б) и *многозаходные* (см. рисунок 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 *крепёжные, крепёжно-уплотняющие* и *для преобразования движения*.

Крепёжные резьбы применяют в соединениях для скрепления деталей. Они имеют треугольный профиль, отличающийся повышенным моментом сопротивления отвинчиванию и высокой прочностью.

Крепёжно-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 крепёжные 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 трапецеидальный (реже прямоугольный) профиль, который характеризуется малым моментом сопротивления вращению.

Характеристики основных типов резьб

- *Метрическая резьба* (рисунок 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.

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).

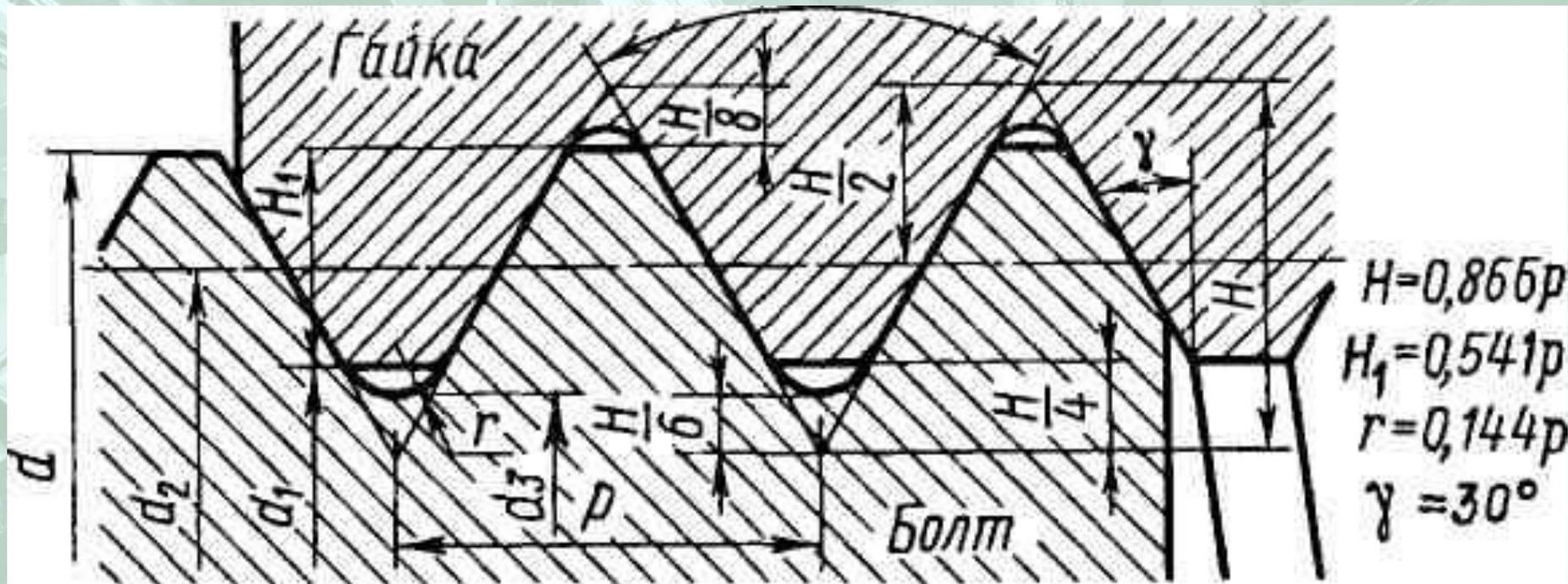


Рисунок 2.12 – Геометрические параметры метрической резьбы: d — номинальный диаметр резьбы (наружный диаметр винта); d_3 — внутренний диаметр резьбы винта по дну впадины; d_2 — средний диаметр резьбы, т. е. диаметр воображаемого цилиндра, на котором толщина витка равна ширине впадины; p — шаг резьбы, т. е. расстояние между одноименными сторонами соседних профилей, измеренное параллельно оси резьбы; p_{hv} — ход резьбы, т. е. расстояние между одноименными сторонами одного и того же витка в осевом направлении (см. рисунок 2.8); α — угол профиля резьбы; γ — угол наклона боковой стороны профиля резьбы; ψ — угол подъема резьбы (см. рисунок 2.7), т. е. угол, образованный разверткой винтовой линии по среднему диаметру резьбы и плоскостью, перпендикулярной оси винта

- *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* (рисунок 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.
- *Трапецеидальная резьба* (рисунок 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.).

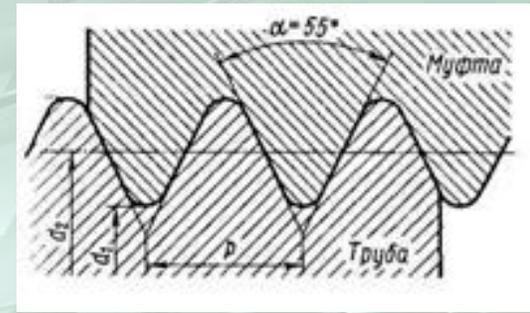


Рисунок 2.13 – Резьба трубная

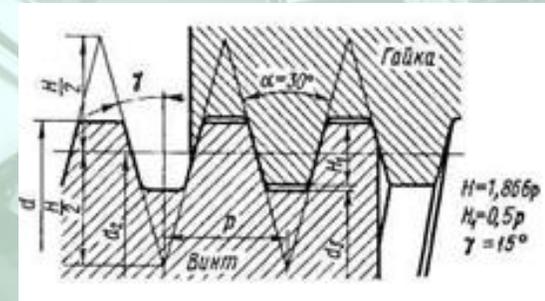


Рисунок 2.14 – Резьба трапецеидальная

➤ *Упорная резьба* (рисунок 2.15). Профиль — неравнобокая трапеция. Рабочая сторона профиля имеет угол наклона $\gamma=3^\circ$, что обеспечивает возможность изготовления резьбы фрезерованием. КПД выше, чем у трапецеидальной 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.

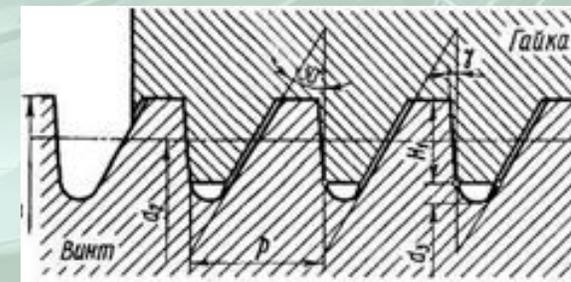


Рисунок 2.15 – Упорная резьба

➤ *Прямоугольная резьба* (рисунок 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.

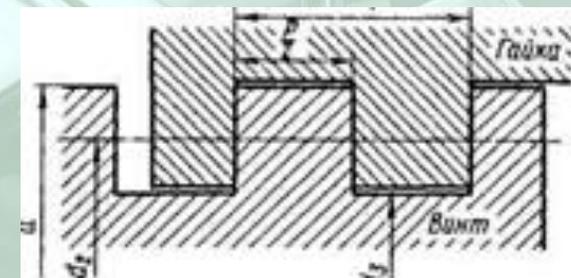
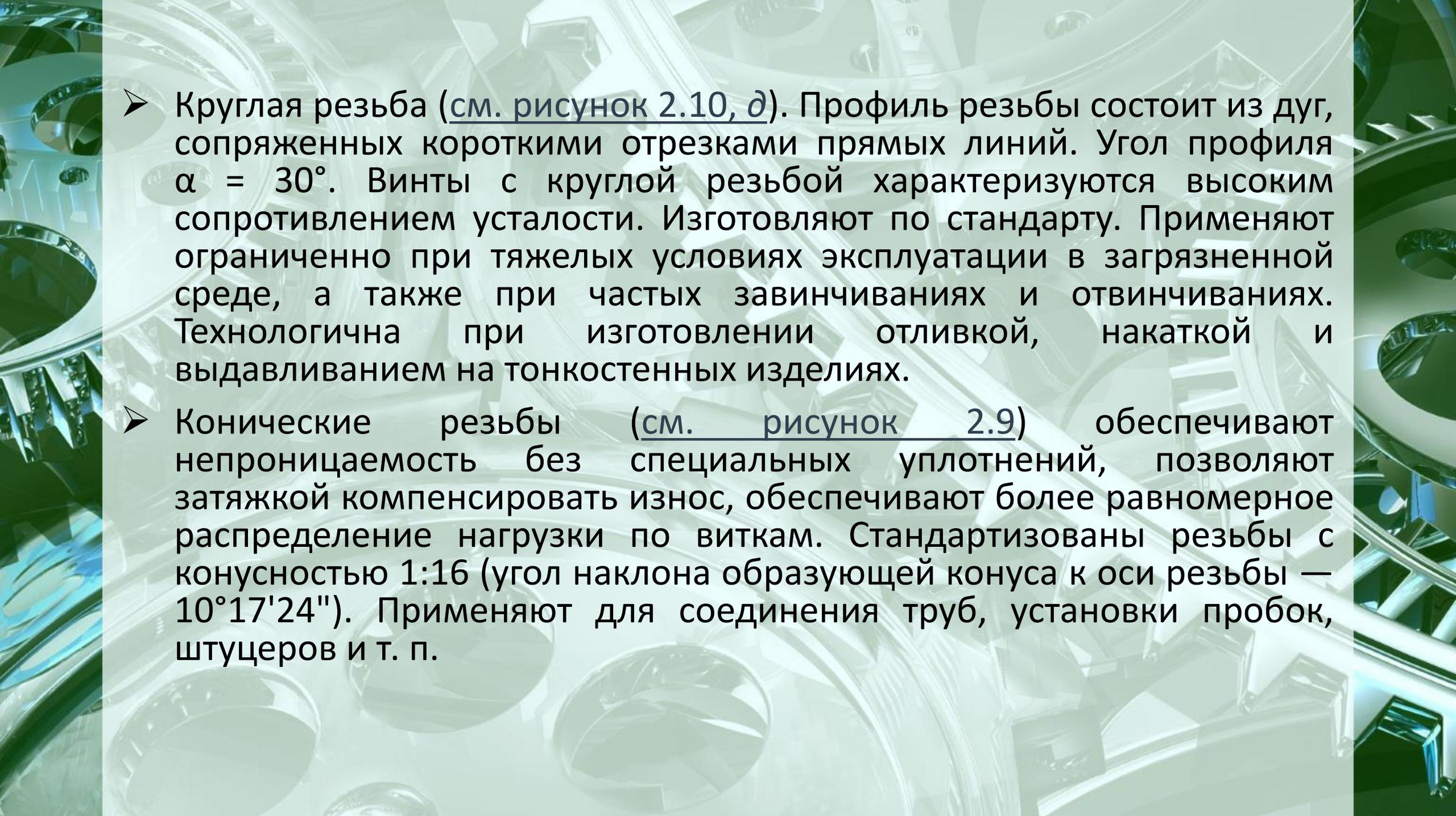


Рисунок 2.16 – Прямоугольная резьба

- 
- Круглая резьба (см. рисунок 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. рисунок 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.

Преимущества и недостатки резьбовых соединений

Преимущества

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

Недостатки

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

2. Варианты задания на расчет

№ вар.	Число винтов z	F_a , 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

№ вар.	Число винтов z	<i>F_a</i>, кН	Класс прочности винтов	Материал винтов
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

3. Методика расчета

Задание.

Крышка подшипникового узла редуктора крепится к корпусу винтами (рисунок 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.

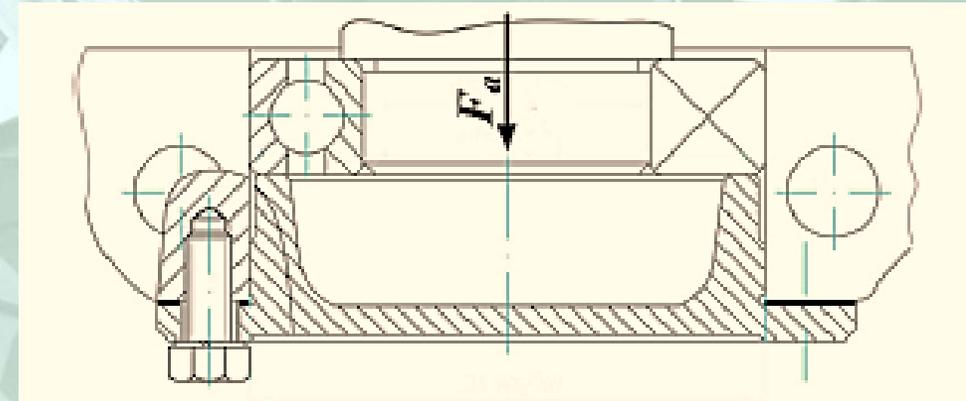


Рисунок 2.17 – Эскиз к расчету винтового соединения крышки с корпусом редуктора

- **Нагрузка, приходящаяся на один винт, Н**

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

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

- **Допускаемое напряжение растяжения, МПа**

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

где σ_p – предел текучести материала винта (таблица 2.3), МПа;
 $[s]_T$ – коэффициент запаса прочности; для углеродистых сталей
 $[s]_T = (1,7 - 2,2)$; для легированных сталей – $[s]_T = (2 - 3)$.

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

Класс прочности	σ_B , МПа	σ_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

- 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 $K_{\text{зат}} = 1,25 - 2$);

χ – коэффициент основной (внешней) нагрузки (для соединений стальных и чугунных деталей без упругих прокладок принимают $\chi = 0,2$).

- 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

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

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

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

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

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

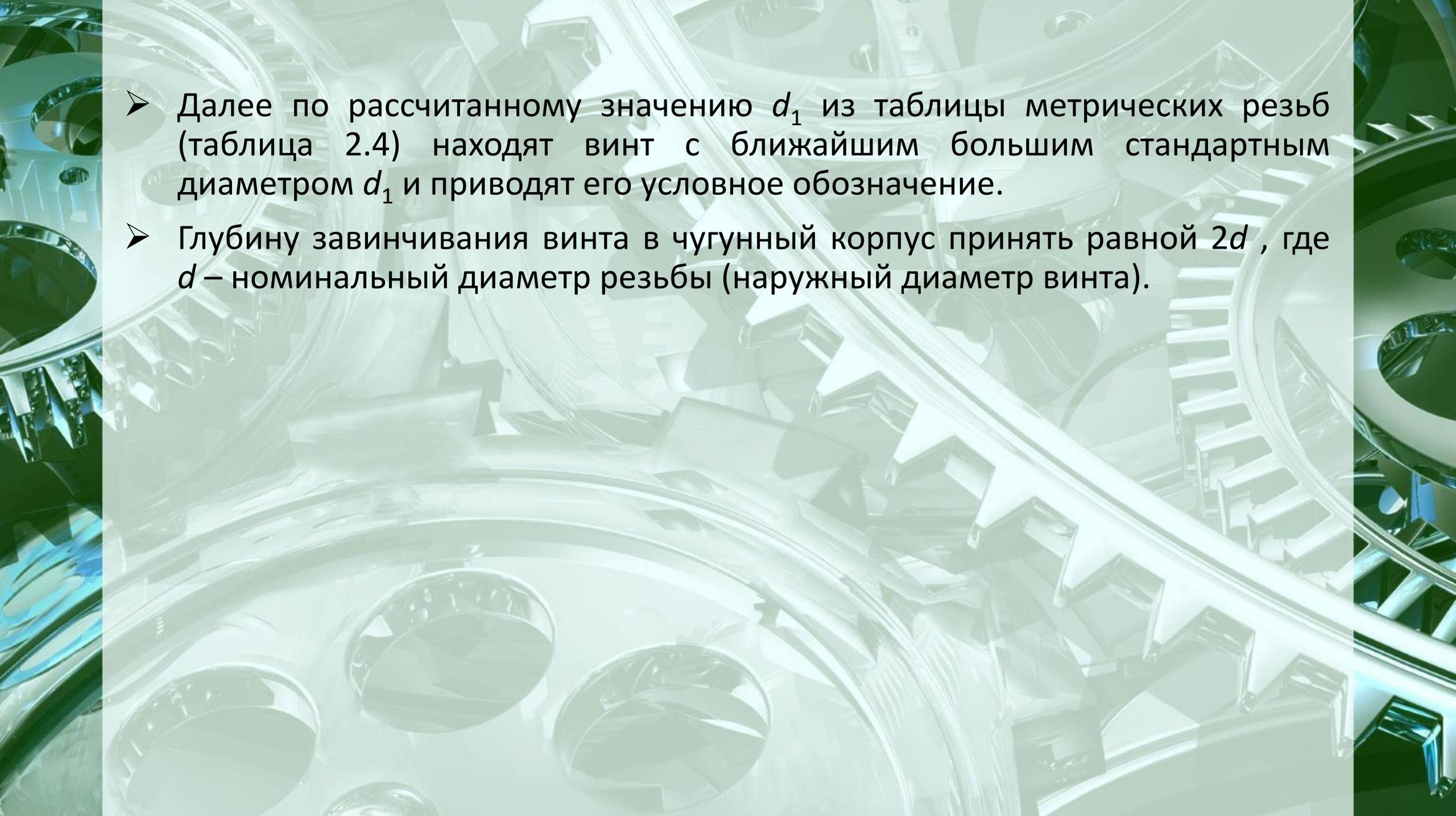
- 
- Далее по рассчитанному значению d_1 из таблицы метрических резьб (таблица 2.4) находят винт с ближайшим большим стандартным диаметром d_1 и приводят его условное обозначение.
 - Глубину завинчивания винта в чугунный корпус принять равной $2d$, где d – номинальный диаметр резьбы (наружный диаметр винта).

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
	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 М14 применять не рекомендуется

4. Контрольные вопросы

- Как образуется резьба?
- Перечислите основные виды резьб.
- Укажите основные достоинства и недостатки резьбовых соединений.
- Какая резьба называется метрической? Укажите ее основные характеристики.
- Укажите области применения резьб с крупным и мелким шагом.



Практическая работа № 2.3

Расчет параметров локальной вибрации

1. Общие сведения

Вибрация – это механические колебания, передаваемые по жидким или твердым средам. Вибрация представляет собой кинетическую энергию, передаваемую машине или человеку. Причинами 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.

2. Варианты задания на расчет

№ вар.	Скорость вибрации, мс^{-1} в октавных полосах частот, Гц								η_{Σ}
	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

№ вар.	Скорость вибрации u , мс^{-1} в октавных полосах частот, Гц								η_{Σ}
	16	32	63	125	250	500	1000	2000	
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

3. Методика расчета

Задание.

Даны значения виброскорости в октавных полосах частот, измеренные на рукояти пневматического молотка. Определить уровни скорости вибрации в децибелах для каждой октавной полосы. Сравнить полученные значения с нормативными. Вычислить эффективность вибродемпфирующего покрытия.

- **Уровень виброскорости для каждой октавной полосы N_v , дБ**

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

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

- По таблице 2.5 определить превышения уровней виброскорости над нормативными значениями.
- **Снижение уровня виброскорости на рукоятке пневмомолотка при покрытии ее вибродемпфирующим материалом ΔN , дБ**

$$\Delta N = 20 \lg \frac{\eta_\Sigma + \eta_1}{\eta_1},$$

где η_1 – коэффициент потерь вибрирующей поверхности до нанесения вибропоглощающего покрытия (для стали $\eta_1 = 0,01$);

η_Σ - то же, при наличии вибропоглощающего покрытия.

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

- Уровень скорости вибрации при наличии вибродемпфирующего покрытия N_v , дБ

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

- Результаты расчетов представить графически, отложив по оси абсцисс среднегеометрические частоты октавных полос, по оси ординат – уровни колебательной скорости, и вынести в таблицу 2.6.

4. Контрольные вопросы

- Что такое вибрация?
- Назовите источники производственной вибрации?
- По каким критериям классифицируют производственную вибрацию?
- Как осуществляется гигиеническая оценка производственной вибрации?
- Какие существуют методы виброзащиты?



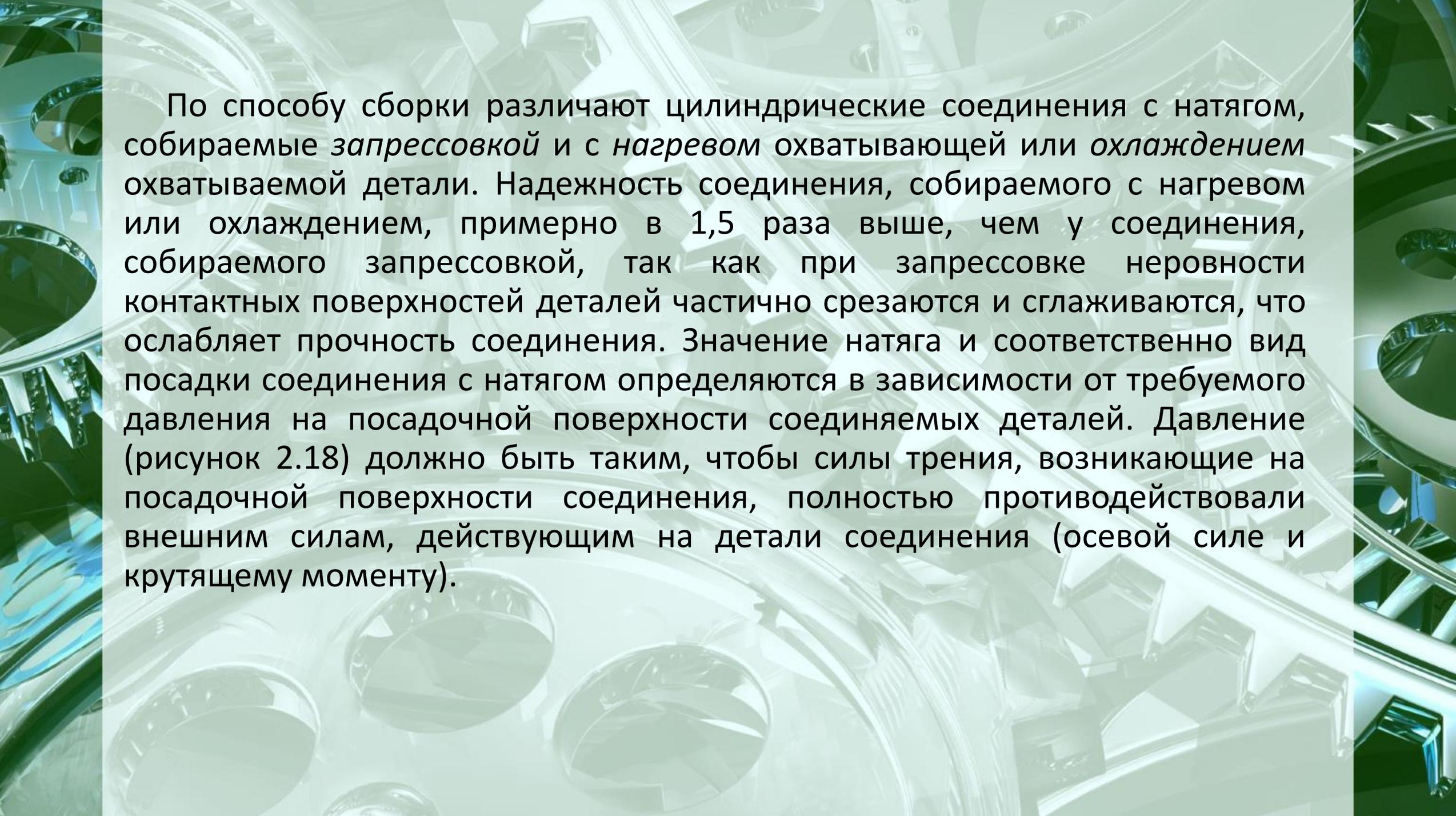
Практическая работа № 2.4

Расчет и выбор посадок с натягом

1. Общие сведения

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 (рисунок 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).

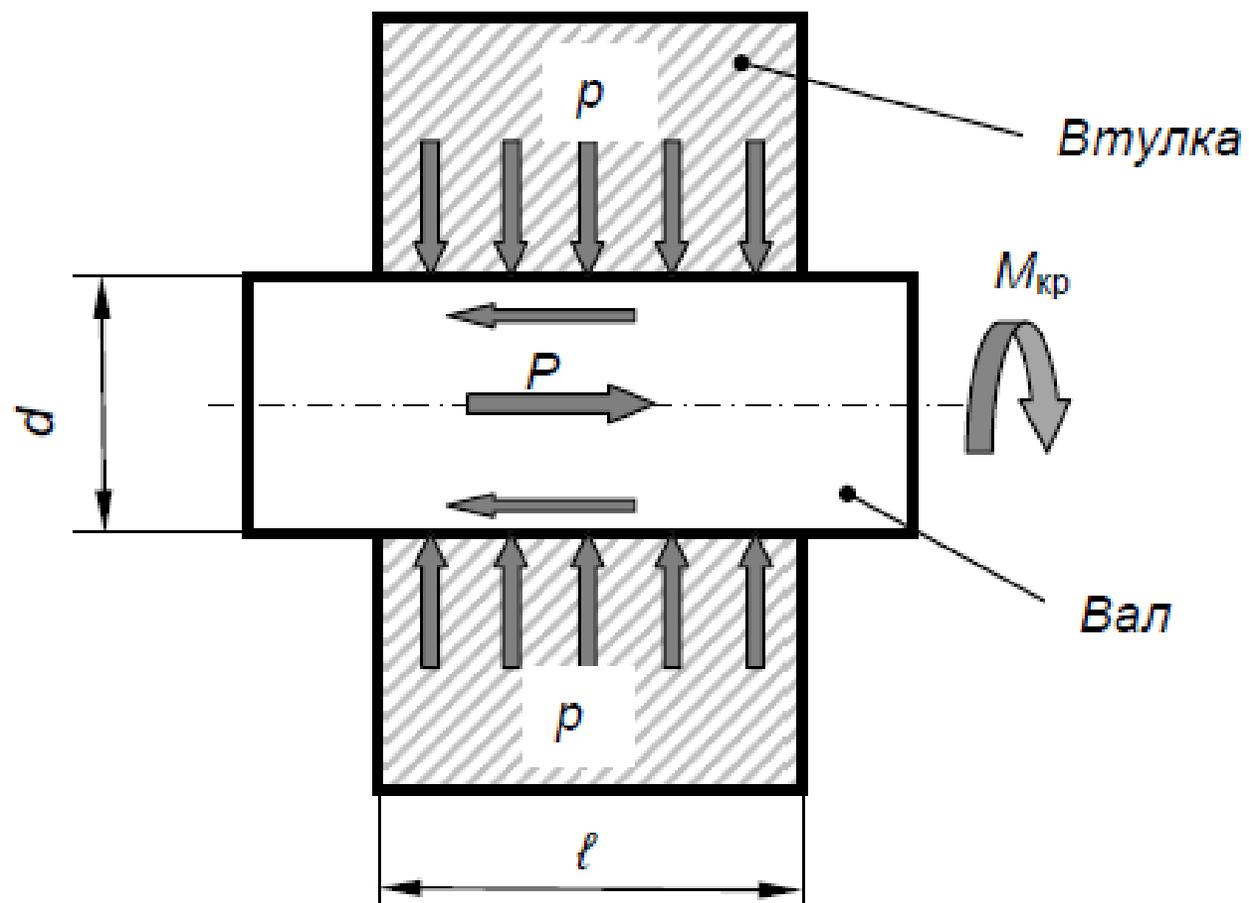


Рисунок 2.18 – Соединение деталей с натягом: p – давление на посадочную поверхность; P – осевая сила; $M_{кр}$ – крутящий момент; l – длина контакта сопрягаемых поверхностей; d – диаметр соединения

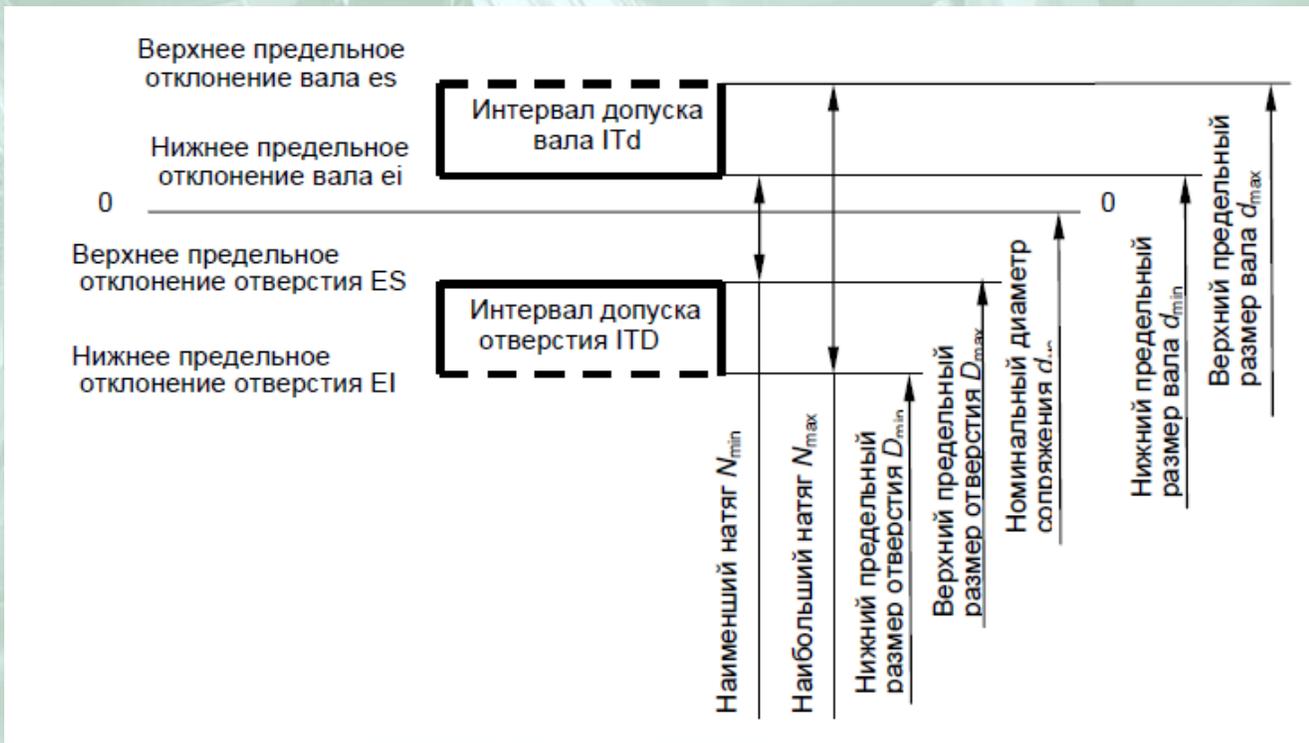
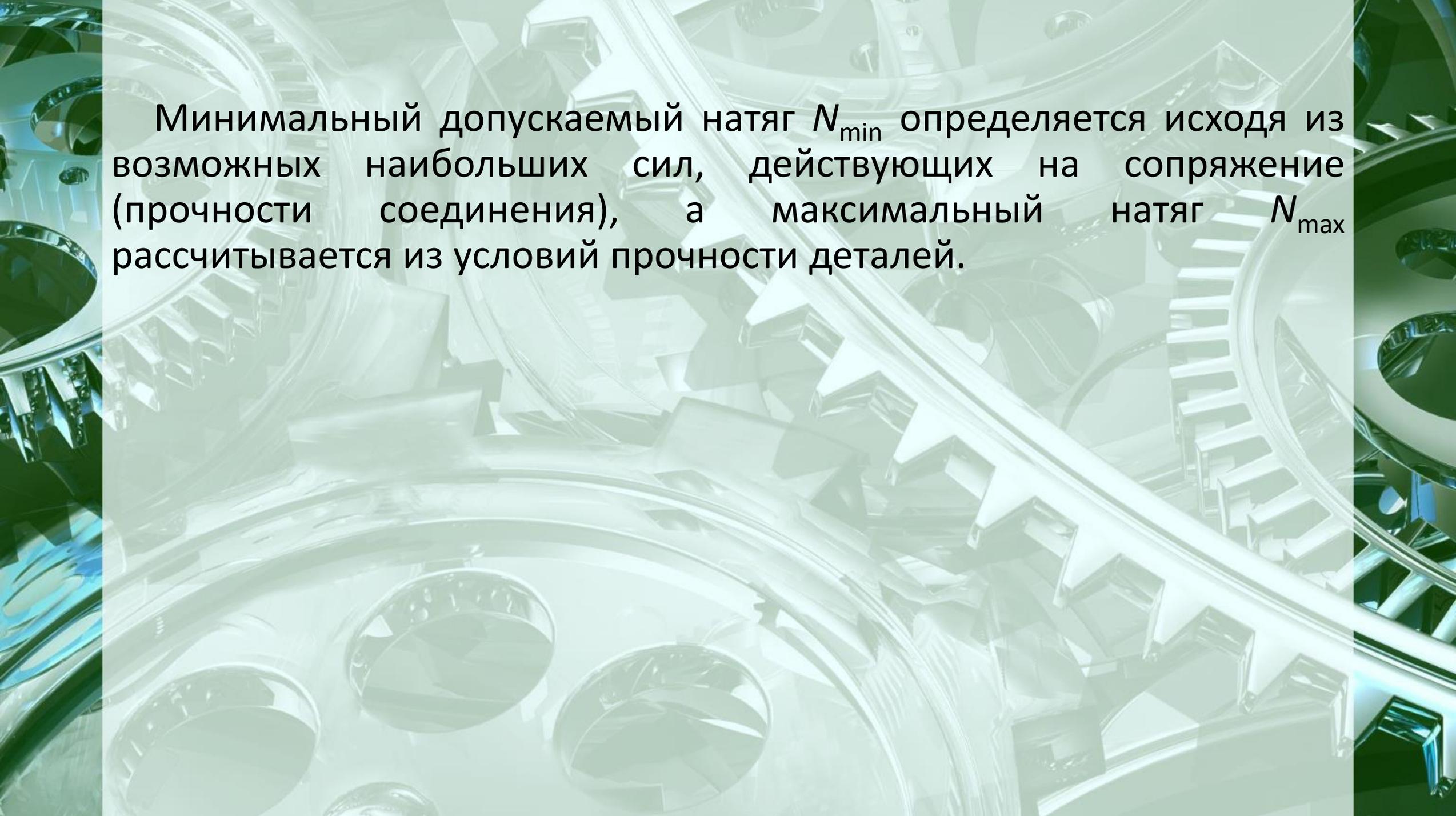


Рисунок 2.19 – Расположение интервалов допусков в посадке с натягом

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 (рисунок 2.19) такой посадки интервал допуска отверстия всегда расположен ниже интервала допуска вала.



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

2. Варианты задания на расчет

№ вар.	Крутящий момент T , Н·м	Осевая сила R_0 , Н	Номинальный диаметр соединения d_H , 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

№ вар.	Крутящий момент T , Н·м	Осевая сила R_0 , Н	Номинальный диаметр соединения d_H , мм	Внутренний диаметр вала d_1 , мм	Наружный диаметр втулки d_2 , мм	Длина сопряжения L , мм	Шероховатость Ra , 10^{-6} м	
							втулки	вала
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

3. Методика расчета

Задание.

Рассчитать минимально допустимый натяг для соединения (рисунок 2.20). Запрессовка деталей механическая, т.е. рабочая температура близка к температуре сборки. Выбрать посадку с натягом по ГОСТ 25346-2013.

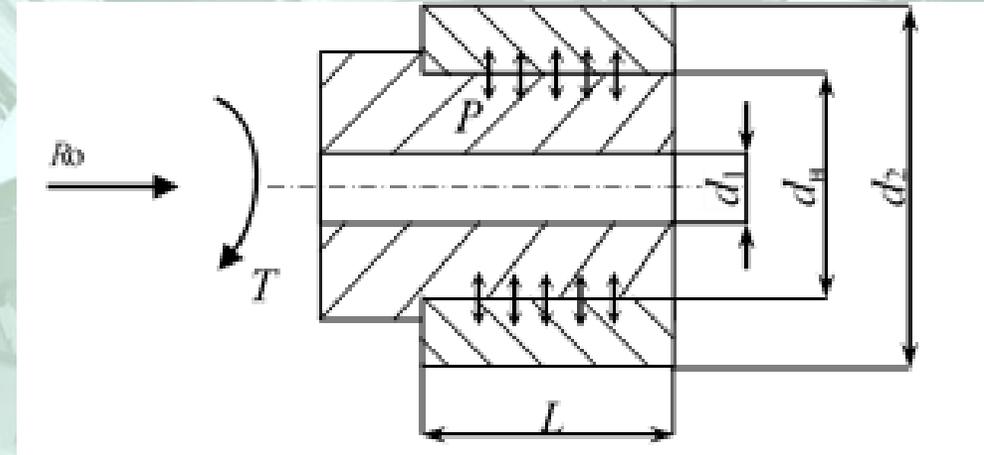


Рисунок 2.20 – Эскиз к расчету соединения с натягом

➤ Минимальное удельное давление на контактных поверхностях соединения, Па

только при действии крутящего момента

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

где T – крутящий момент, стремящийся повернуть одну деталь относительно другой, Н·м;

d_H – 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

$$\left[P_{\min} \right] = \frac{R_o}{\pi d_H L f},$$

где R_o – продольная осевая сила, стремящаяся сдвинуть одну деталь относительно другой, Н;

при одновременном действии крутящего момента и осевой силы

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

- **Наименьший расчетный натяг N_{\min} , м,** определяется из условия обеспечения прочности соединения (неподвижности) под действием осевой силы R_0 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

$$C_D = \frac{\left[1 + \left(\frac{d}{d_2} \right)^2 \right]}{\left[1 - \left(\frac{d}{d_2} \right)^2 \right]} + \mu_D, \quad C_D = \frac{\left[1 + \left(\frac{d_1}{d} \right)^2 \right]}{\left[1 - \left(\frac{d_1}{d} \right)^2 \right]} - \mu_d,$$

где d_1 – внутренний диаметр вала (при сплошном вале $d_1 = 0$), мм;

d_2 – наружный диаметр втулки, мм;

μ_D и μ_d – коэффициенты Пуассона материалов охватывающей и охватываемой деталей (для Ст45 $\mu = 0,3$).

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

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

для вала

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

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

- **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.

- 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;

γ_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 охватываемой детали (рисунок 2.21).

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

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

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

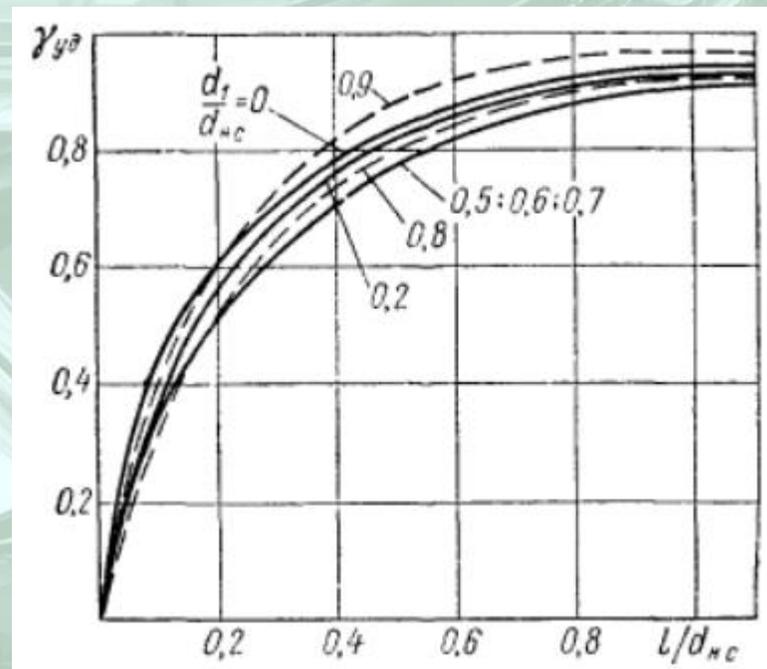


Рисунок 2.21 – Коэффициент увеличения контактного давления у торцов охватываемой детали $\gamma_{уд}$:
 d_1 – диаметр охватываемой поверхности; $d_{н.с.}$ – номинальный диаметр соединения; L – длина сопряжения

➤ **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 таблице 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 (таблица 2.8) и (ei или es) вала (таблица 2.9);
- 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

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

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 качества) следует применять систему «вала» или использовать «внесистемную» посадку.

После выбора посадки необходимо построить схему расположения интервалов допусков в посадке с натягом в соответствии с [рисунком 2.19](#).

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	

Таблица 2.8 – Числовые значения основных отклонений (для отверстий)

Интервал размеров, мм		Основные отклонения											
		A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	Js ¹
		для всех квалитетов											
Св.	до	Нижнее отклонение <i>E_I</i>											
30	40	+310	+170	+120	-	+80	+50	-	+25	-	+9	0	Предельные отклонения = $\pm IT_n/2$, 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 таблицы 2.8

Интервал размеров, мм		Основные отклонения													
		J		K ²		M ^{2 3}		N ²		P до ZC ²		P	R	S	T
		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 <i>ES</i>													
30	40	+10	+14	+24	-2+Δ	-	-9+Δ	-9	-17+Δ	0	Отклонения для квалитета свыше 7-го, увеличенные 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

Окончание таблицы 2.8

Интервал размеров, мм		-445 Основные отклонения								Δ , мм					
		U	V	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC						
		для квалитетов свыше 7-го								для квалитетов					
Св.	до	Верхнее отклонение <i>ES</i>								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	2	3	5	6	11	16
65	80	-102	-120	-146	-174	-210	-274	-360	-480						
80	100	-124	-146	-178	-214	-258	-335	-445	-585	2	4	5	7	13	19
100	120	-144	-172	-210	-254	-310	-400	-525	-690						

Таблица 2.9 – Числовые значения основных отклонений (для валов)

Интервал размеров, мм		Основные отклонения																
		a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	js ¹	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>e_s</i>											Нижнее отклонение <i>e_i</i>					
30	40	-310	-170	-120	-	-80	-50	-	-25	-	-9	0	Предельные отклонения = $\pm IT_p/2$, где <i>n</i> – порядковый номер квалитета	-5	-10	-	+2	0
40	50	-320	-180	-130														
50	65	-340	-190	-140	-	-120	-72	-	-36	-	-12	0		-9	-15	-	+3	0
65	80	-360	-200	-150														
80	100	-380	-220	-170	-	-120	-72	-	-36	-	-12	0		-9	-15	-	+3	0
100	120	-410	-240	-180														

Продолжение таблицы 2.9

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 e_i													
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				+43	+59	+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				+54	+79	+104	+144	+172	+210	+254	+310	+400	+525	+690

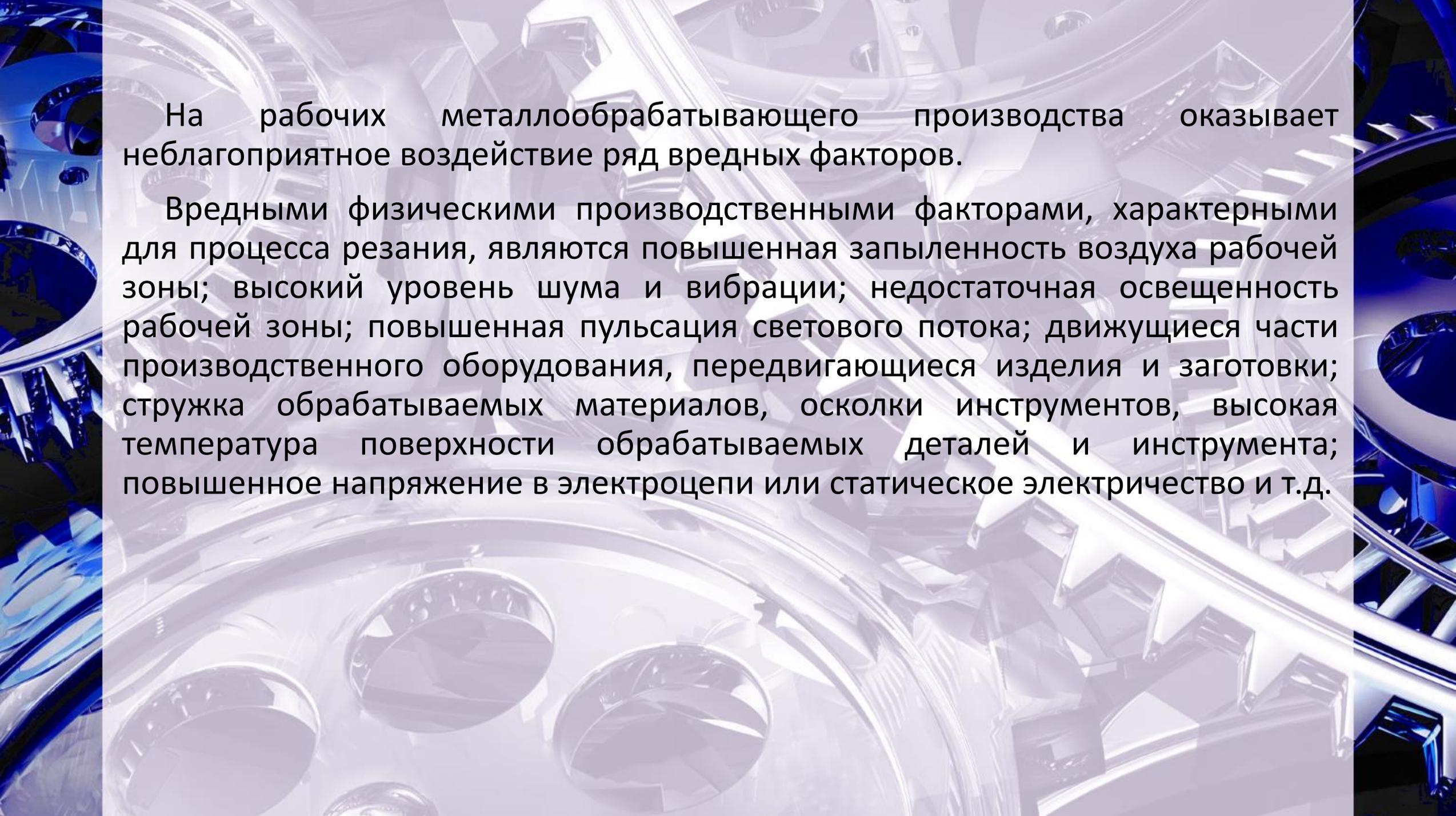


3. Безопасность металлообрабатывающего производства

- ✓ Расчет защитного ограждения
металлообрабатывающего станка
- ✓ Гигиеническое нормирование содержания
вредных веществ в воздухе рабочей зоны
- ✓ Проектирование и расчет
звукоизолирующего кожуха

Введение

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 является механический. Он оснащен металлорежущими станками и вспомогательным оборудованием. Шлифование является неотъемлемой операцией в технологическом процессе. Она позволяет достичь необходимой конфигурации и качества детали, обеспечивая этим безотказную работу механизма, в который входит данная деталь.



На рабочих металлообрабатывающего производства оказывает неблагоприятное воздействие ряд вредных факторов.

Вредными физическими производственными факторами, характерными для процесса резания, являются повышенная запыленность воздуха рабочей зоны; высокий уровень шума и вибрации; недостаточная освещенность рабочей зоны; повышенная пульсация светового потока; 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.



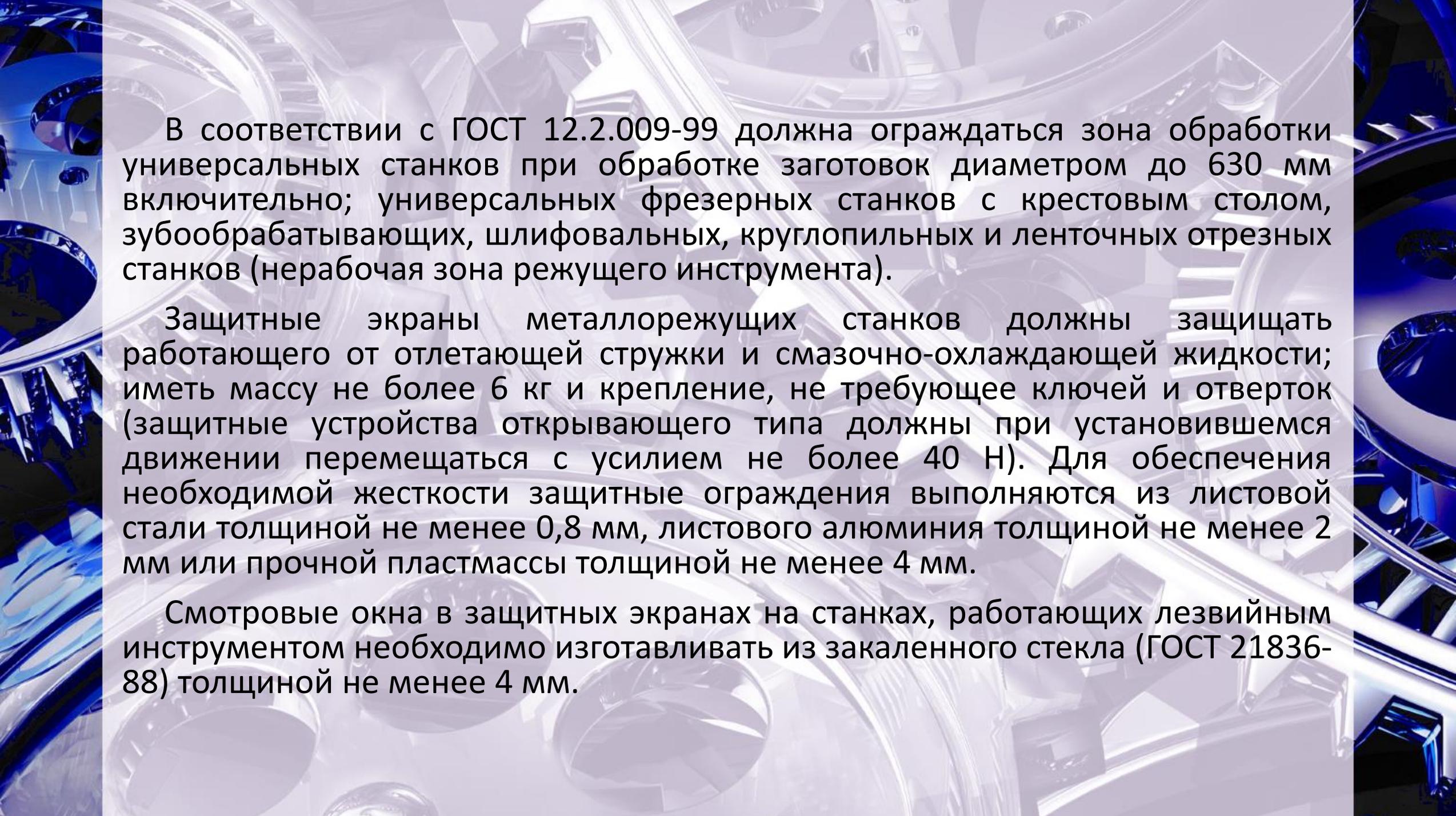
Практическая работа № 3.1

Расчет защитного
ограждения
металлообрабатывающего
станка

1. Общие сведения

При работе машин, механизмов и оборудования имеются потенциально опасные вращающиеся или движущиеся части. Для обеспечения безопасности работающих и находящихся рядом людей эти части должны быть ограждены. Также стараются оградить зоны возможного выброса рабочего материала и инструмента, зоны факторов повышенной опасности (высоких температур, напряжений, излучений) и т. п.

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, исключающим случаи самооткрывания.



2. Варианты задания на расчет

№ 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

№ вар.	Параметры шлифовального круга			
	Внешний диаметр D , м	Внутренний диаметр d , м	Масса m , кг	Окружная скорость v , м/с
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

3. Методика расчета

Задание.

Рассчитать ударную нагрузку на защитное ограждение станка при разрыве шлифовального круга. Подобрать толщину стенки ограждения по таблице 3.1 в зависимости от расчетной ударной нагрузки.

- 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.

- 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.

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

4. Контрольные вопросы

- Что такое защитное ограждение?
- Какие опасные зоны следует защищать ограждениями?
- Каково назначение защитных ограждений?
- Из чего выполняются защитные экраны металлорежущих станков?
- Из чего изготавливают смотровые окна в ограждениях?



Практическая работа № 3.2

Гигиеническое
нормирование содержания
вредных веществ в воздухе
рабочей зоны

1. Общие сведения

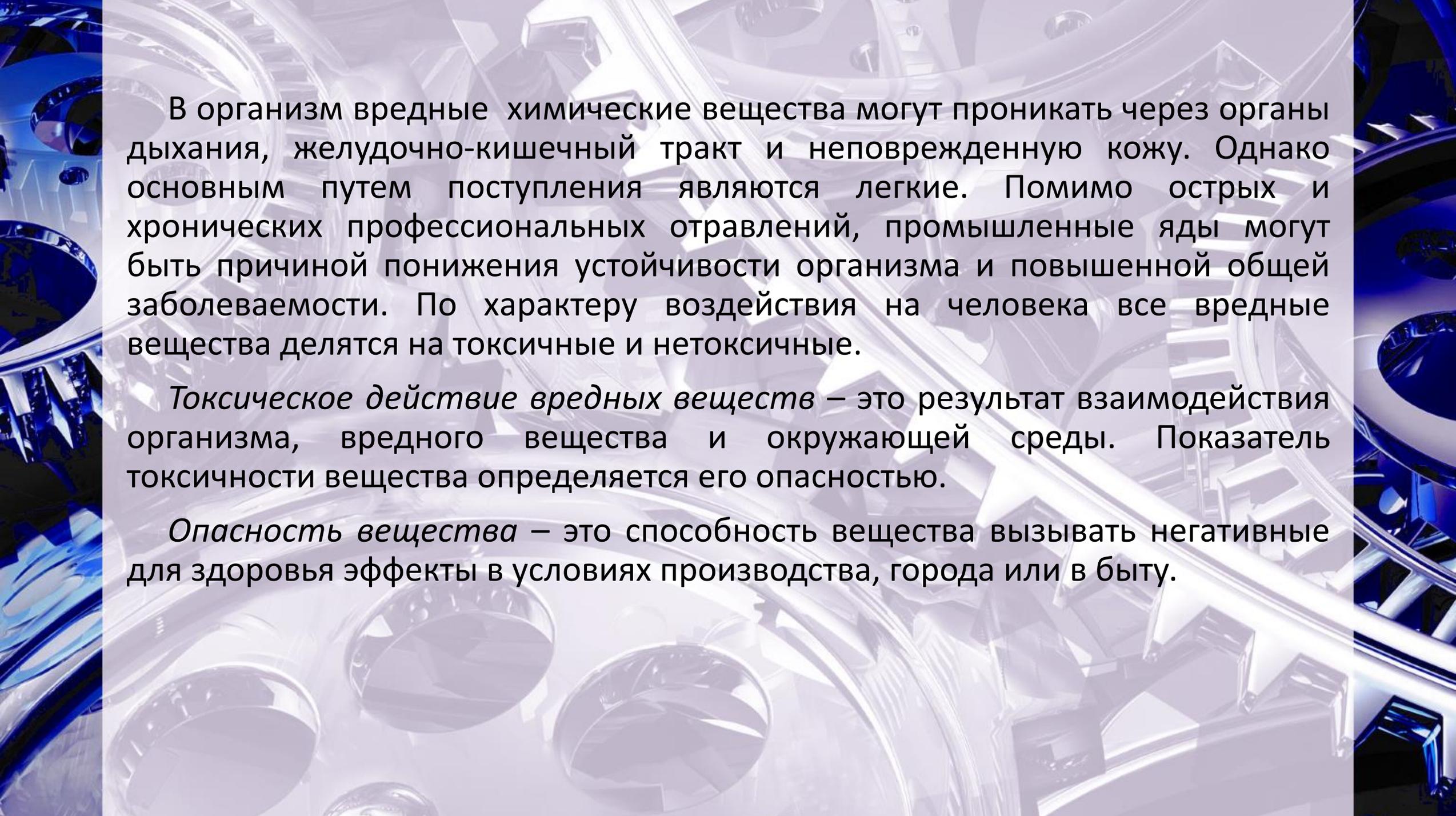
➤ **Воздействие вредных веществ на человека**

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;

КВИО – 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.

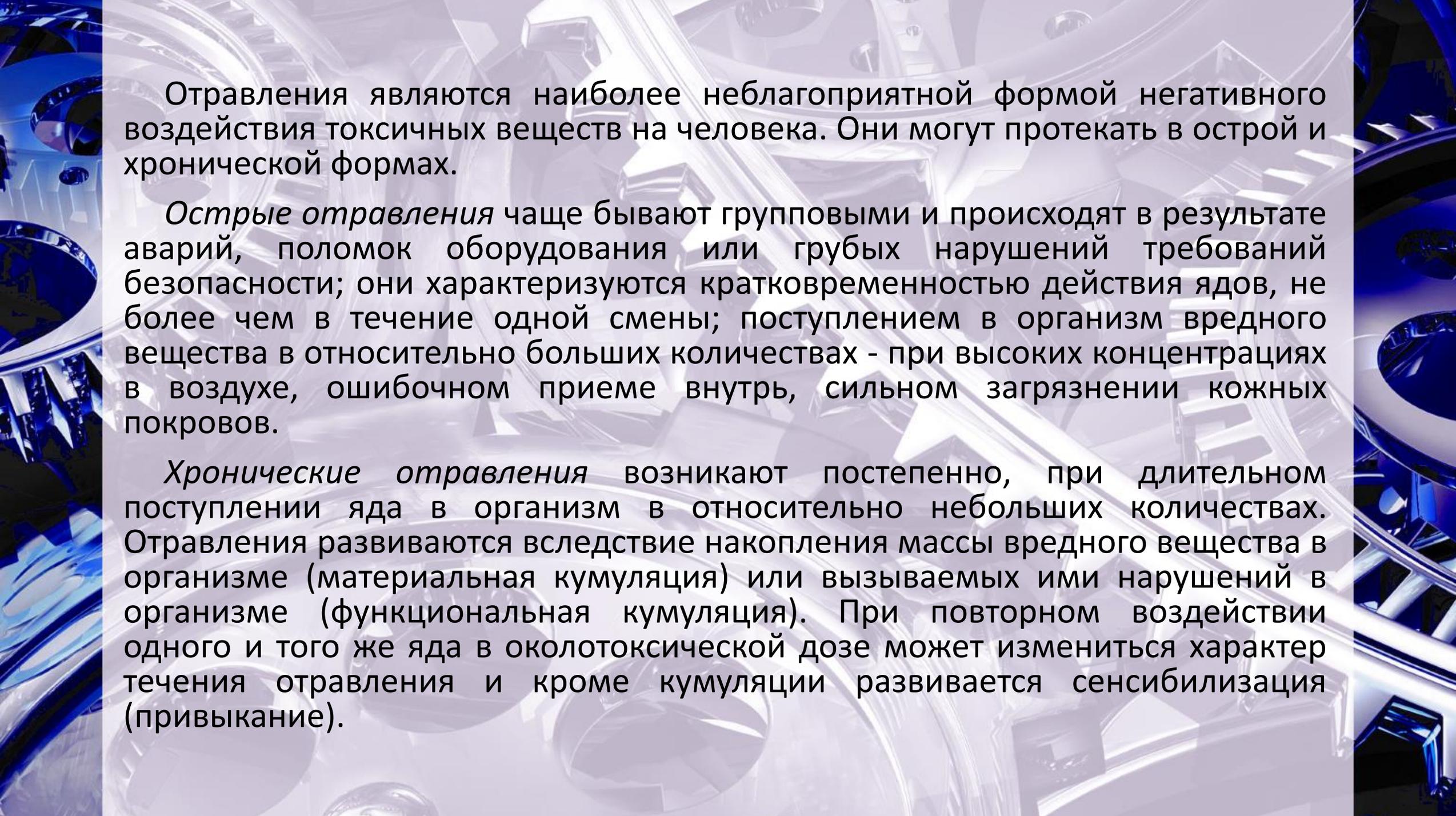
По степени воздействия на организм человека вредные вещества в соответствии с классификацией ГОСТ 12.1.007-76 «ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности» подразделяются на 4 класса опасности:

1 – *чрезвычайно опасные вещества*, ПДК < 0,1 мг/м³, например, свинец, ртуть, озон;

2 – *высоко опасные вещества*, ПДК = 0,1 - 1,0 мг/м³, например, марганец, хлор, азотная кислота;

3 – *умеренно опасные*, ПДК = 1,0 - 10 мг/м³, например, азота диоксид, метиловый спирт, сернистый ан-гидрид;

4 – *малоопасные*, ПДК > 10 мг/м³, например, угарный газ, ацетон, аммиак.



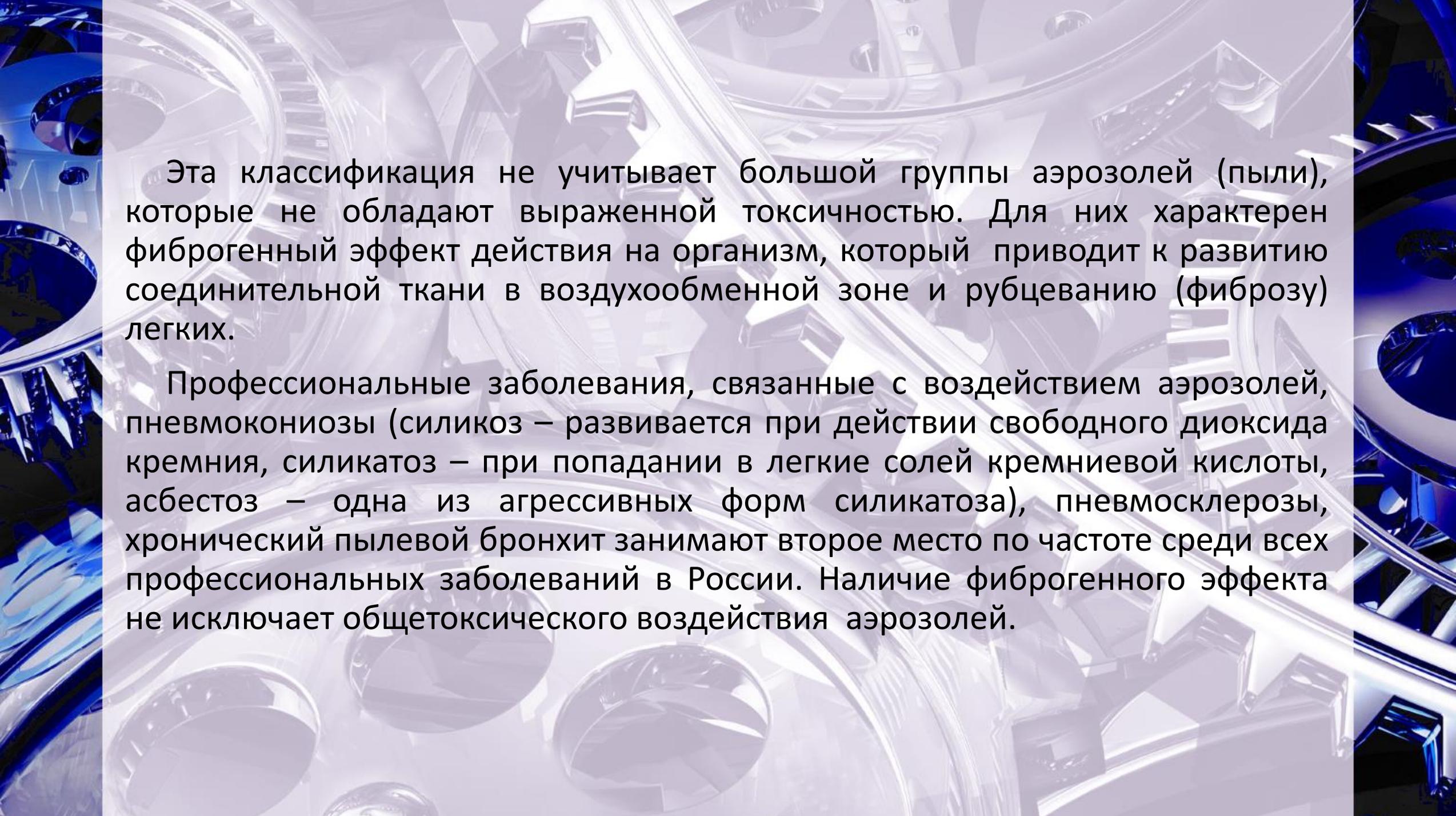
Отравления являются наиболее неблагоприятной формой негативного воздействия токсичных веществ на человека. Они могут протекать в острой и хронической формах.

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).

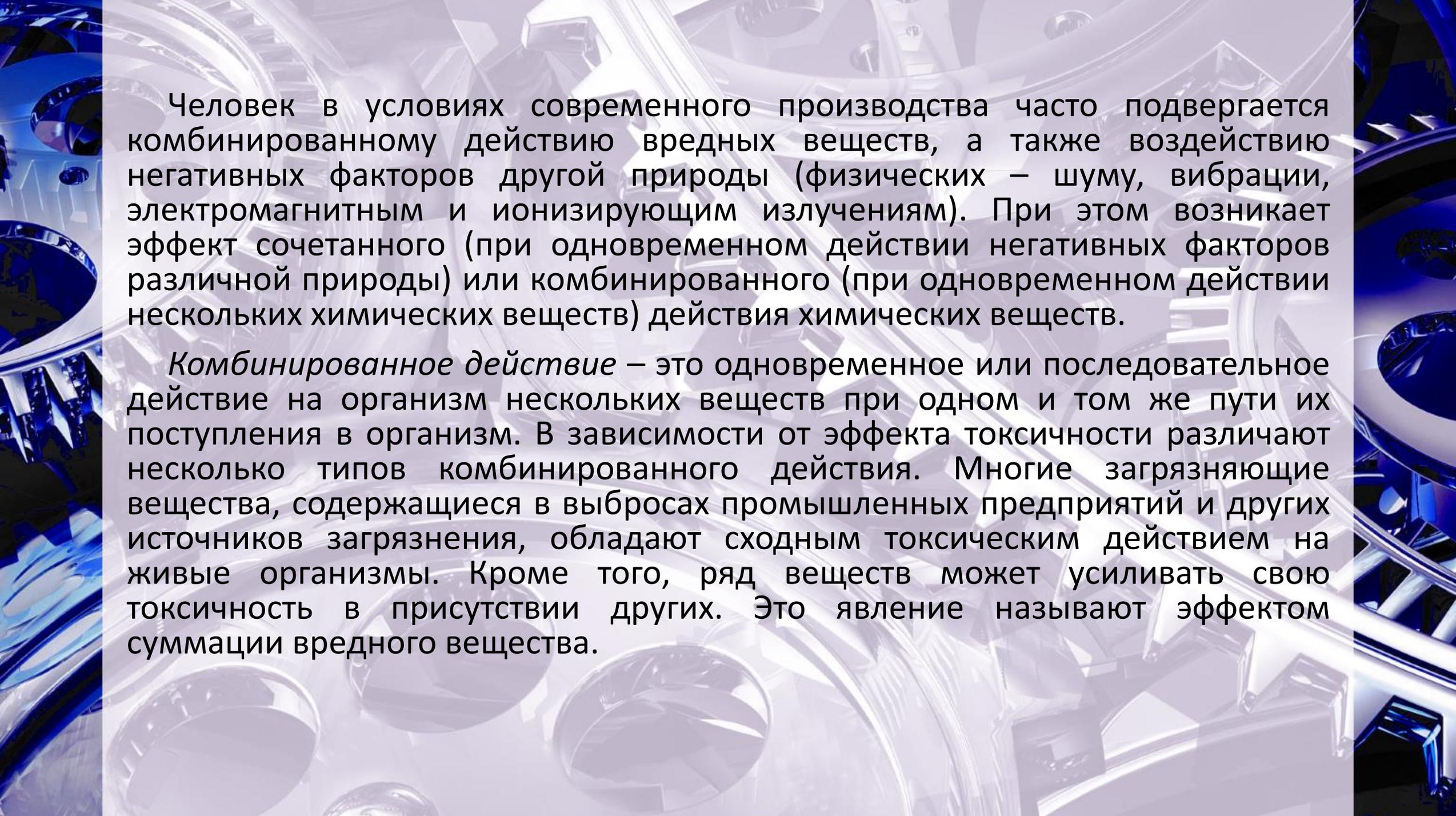
Вещества по характеру воздействия подразделяются на:

- *общетоксические*, которые вызывают отравление всего организма или поражающие ЦНС, кроветворение, вызывающие болезни печени, почек (свинец, ртуть);
- *раздражающие*, которые вызывают раздражение слизистых оболочек дыхательных путей, глаз, легких, кожи (хлор, азота окислы);
- *сенсibiliзирующие*, 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 углеводородов).

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

$$K = \frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ПДК_n} \leq 1,$$

где C_1, C_2, C_n - концентрации каждого вещества в воздухе, обладающих эффектом суммации, мг/м³;

$ПДК_1 \dots ПДК_n$ – соответствующие им предельно допустимые концентрации этих веществ, мг/м³.

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.

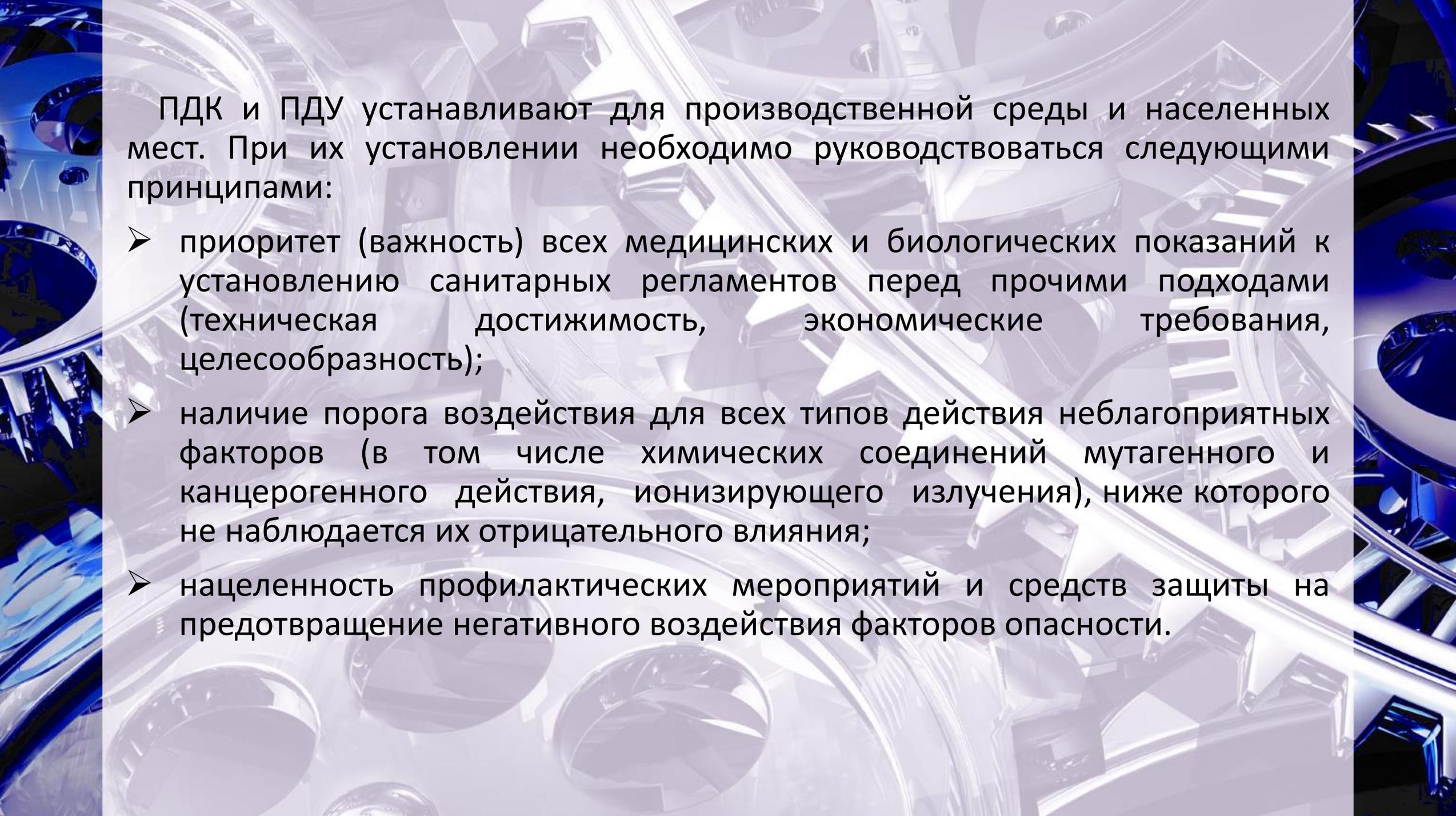
Независимость – эффект не отличается от изолированного действия каждого из веществ. Независимость характерна для веществ разнонаправленного действия, когда вещества оказывают различное влияние на организм и воздействуют на разные органы. Например, бензол и раздражающие газы.

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 часто 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_{р.з.}.

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 устанавливаются для производственной среды и населенных мест. При их установлении необходимо руководствоваться следующими принципами:

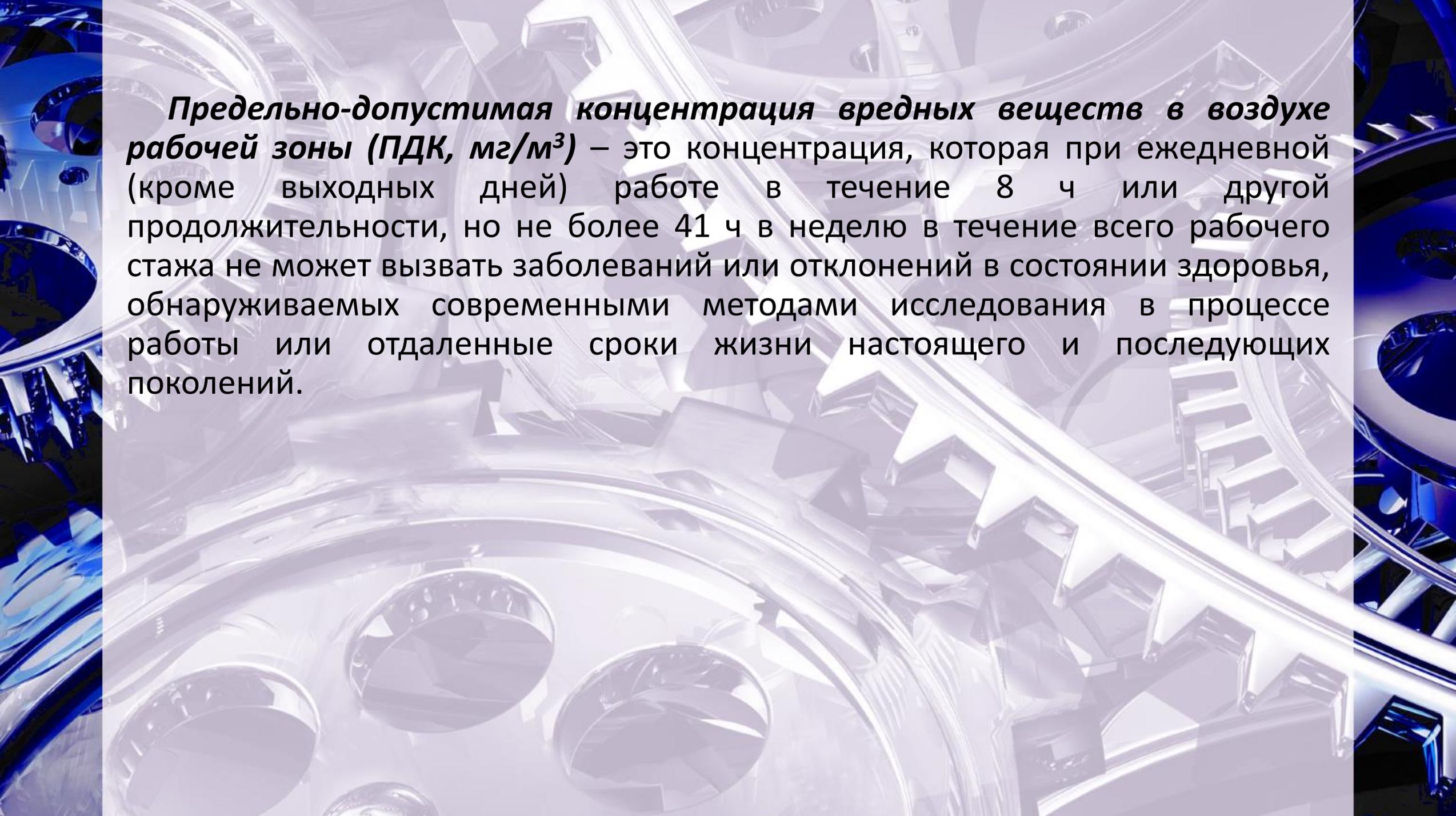
- приоритет (важность) всех медицинских и биологических показаний к установлению санитарных регламентов перед прочими подходами (техническая достижимость, экономические требования, целесообразность);
- наличие порога воздействия для всех типов действия неблагоприятных факторов (в том числе химических 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 ($\text{ПДК}_{\text{с.с}}$) и максимальная разовая ($\text{ПДК}_{\text{м.р}}$).

Максимально разовая ПДК_{м.р.} – 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_{с.с.} – 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/м³) – 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.

2. Варианты задания на расчет

№ вар.	Вещество	C, мг/м ³	№ вар.	Вещество	C, мг/м ³	№ вар.	Вещество	C, мг/м ³
1	Акролеин	0,01	3	Азота двуокись	0,5	5	Этиловый спирт	150
	Дихлорэтан	4,0		Ацетон	0,2		Оксид углерода	15,0
	Хлор	0,02		Бензол	0,05		Озон	0,01
	Оксид углерода	10,0		Фенол	0,01		Серная кислота	0,05
	Сернистый ангидрид	0,03		Оксид углерода	10,0		Соляная кислота	5,0
	Хрома окись	0,1		Винилацетат	0,1		Сернистый ангидрид	0,05
2	Азота двуокись	0,04	4	Серная кислота	0,5	6	Фенол	0,001
	Аммиак	0,5		Азотная кислота	0,5		Азота оксиды	0,1
	Хрома окись	0,2		Кремния диоксид	0,2		Вольфрам	10
	Сернистый ангидрид	0,5		Фенол	0,01		Полипропилен	5,0
	Ртуть	0,001		Ацетон	0,2		Ацетон	0,5
	Акролеин	0,01		Озон	0,001		Формальдегид	0,02

№ вар.	Вещество	С, мг/м ³	№ вар.	Вещество	С, мг/м ³	№ вар.	Вещество	С, мг/м ³
7	Акролеин	0,01	9	Озон	0,01	11	Оксиды азота	0,1
	Дихлорэтан	5,0		Метиловый спирт	0,2		Оксиды алюминия	5,0
	Озон	0,01		Ксилол	0,5		Формальдегид	0,02
	Оксид углерода	15		Азота диоксид	0,5		Винилацетат	0,1
	Формальдегид	0,02		Формальдегид	0,01		Бензол	0,05
	Вольфрам	4,0		Толуол	0,5		Фенол	0,005
8	Аммиак	0,01	10	Ацетон	0,2	12	Аммиак	0,001
	Ацетон	150		Оксид углерода	15,0		Оксид азота (II)	0,1
	Бензол	0,05		Кремния диоксид	0,2		Вольфрам	4,0
	Озон	0,001		Фенол	0,003		Оксид алюминия	5,0
	Дихлорэтан	5,0		Формальдегид	0,02		Оксид углерода	5,0
	Фенол	0,5		Толуол	0,05		Фенол	0,01

№ вар.	Вещество	С, мг/м ³	№ вар.	Вещество	С, мг/м ³	№ вар.	Вещество	С, мг/м ³
13	Оксид азота (IV)	0,1	15	Азотная кислота	0,5	17	Оксид углерода	10,0
	Оксид алюминия	5,0		Толуол	0,6		Диоксид азота	1,0
	Фенол	0,01		Винилацетат	0,15		Формальдегид	0,02
	Бензол	0,05		Оксид углерода	10,0		Акролеин	0,01
	Формальдегид	0,01		Оксид алюминия	10,0		Дихлорэтан	0,5
	Винилацетат	0,1		Гексан	0,01		Озон	0,02
14	Оксид углерода	10	16	Акролеин	0,01	18	Аммиак	0,05
	Этилендиамин	0,1		Дихлорэтан	5,0		Оксиды азота	0,1
	Аммиак	0,1		Хлор	0,01		Оксид углерода	15,0
	Диоксид азота	5,0		Триоксид хрома	0,1		Фенол	0,005
	Ацетон	100		Ксилол	0,3		Вольфрам	4,0
	Бензол	0,05		Ацетон	0,1		Оксид алюминия	3,0

№ вар.	Вещество	С, мг/м ³	№ вар.	Вещество	С, мг/м ³	№ вар.	Вещество	С, мг/м ³
19	Аммиак	0,5	21	Оксид углерода	22	23	Ацетон	150
	Диоксид азота	1,0		Вольфрамовый ангидрид	5,8		Фенол	0,3
	Вольфрамовый ангидрид	5,0		Аэрозоль пятиокси ванадия	0,1		Формальдегил	0,4
	Триоксид хрома	0,2		Цемент (пыль)	7		Цемент (пыль)	2
	Озон	0,001		Озон	0,2		Кремния диоксид	0,8
	Дихлорэтан	5,0		Полипропилен	11		Серная кислота	0,8
20	Ацетон	0,3	22	Бензол	5,5	24	Оксид углерода	2,0
	Фенол	0,003		Оксид углерода	3		Цемент (пыль)	5,0
	Формальдегид	0,02		Оксид хрома	0,9		Формальдегид	0,4
	Полипропилен	8,0		Этилендиамин	2		Аэрозоль пятиокси ванадия	0,1
	Толуол	0,7		Цемент (пыль)	6		Сернистый ангидрид	5
	Винилацетат	0,15		Формальдегид	0,4		Оксид хрома	1,0

3. Порядок выполнения работы

- Заполнить графы 1 – 5 таблицы 3.2, используя исходные данные и информацию о ПДК заданных веществ (таблица 3.3).
- Рассчитать для каждого заданного вещества отношение $\frac{C_{\text{факт.}}}{\text{ПДК}}$. Занести результаты в столбец 6 таблицы 3.2.
- Определить из совокупности заданных веществ с помощью таблицы 3.4 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. таблицу 3.4). Если выявится несколько групп веществ, обладающих эффектом суммации, то следует использовать цифровую индексацию $\Sigma 1$, $\Sigma 2$ и т.д. (столбец 7 таблицы 3.2).
- Сделать вывод о наличии эффекта суммации среди заданных по варианту вредных веществ.

Таблица 3.2 – Анализ содержания вредных веществ в рабочей зоне

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

Таблица 3.3 – Требования к содержанию вредных веществ в воздухе рабочей зоны

Наименование вещества	ПДК, мг/м ³	Класс опасности	Особенности воздействия
Азота диоксид (NO ₂)	2	2	Рефл. (O, P)
Азота оксиды (в пересчете на NO ₂)	5	3	Рефл. (O, P)
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	P (Рефл.-рез.)
Ацетон	200	4	Рефл.
Аэрозоль пятиоксида ванадия	0,1	1	Рез.
Бензол	5	2	Рез. (K, Repr.)
Винилацетат	10	3	Рез. (K)
Вольфрам	6	3	Рефл. (Ф)
Вольфрамовый ангидрид	6	3	Ф

Продолжение таблицы 3.3

Наименование вещества	ПДК, мг/м ³	Класс опасности	Особенности воздействия
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

Окончание таблицы 3.3

Наименование вещества	ПДК, мг/м ³	Класс опасности	Особенности воздействия
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 3.4 – Вредные вещества, обладающие эффектом суммации

№ п/п	Группы веществ	№ п/п	Группы веществ
1	Аммиак, сероводород	14	Ацетон, ацетофенон
2	Аммиак, сероводород, формальдегид	15	Ацетон, фурфурол, формальдегид и фенол
3	Аммиак, формальдегид	16	Ацетон, трикрезол, фенол
4	Азота диоксид и оксид, мазутная зола, серы диоксид	17	Ацетофенон, фенол
5	Азота диоксид, гексан, углерода оксид, формальдегид	18	Аэрозоли пятиокиси ванадия и оксидов марганца
6	Азота диоксид, гексан, серы диоксид, углерода оксид	19	Аэрозоли пятиокиси ванадия и сернистый ангидрид
7	Азота диоксид, серы диоксид	20	Аэрозоли пятиокиси ванадия и трехокиси хрома
8	Азота диоксид, серы диоксид, углерода оксид, фенол	21	Бензол и ацетофенон
9	Акриловая и метакриловая кислоты	22	Валериановая, капроновая и масляная кислоты
10	Ахриловая и метакриловая кислоты, бутилакрилат, бутлиметакрилат, металакрилат, метиметакрилат	23	Вольфрамовый и сернистый ангидриды
11	Ацетальдегид, винилацетат	24	Гексахлоран и фозалон
12	Ацетон, акролеин, фталевый ангидрид	25	2,3-Дихлор-1,4-нафтахинон и 1,4-нафтахинон
13	Ацетон, фенол	26	1,2-Дихлорпропан, 1,2,3-Трихлорпропан и тетрахлорэтилен

Продолжение таблицы 3.4

№ п/п	Группы веществ	№ п/п	Группы веществ
27	Изопропилбензол и гидроперекись изопропилбензола	40	Серы диоксид, никель металлический
28	Изобутилкарбинол и диметилвинилкарбинол	41	Серы диоксид, сероводород
29	Метилгидропиран и метилентетрагидропиран	42	Серы диоксид, углерода оксид, фенол и пыль конверторного производства
30	Моно, ди- и трипропиламины	43	Серы диоксид, фенол
31	Мышьяковистый ангидрид и свинца ацетат	44	Серы диоксид, фтористый водород
32	Мышьяковистый ангидрид и германий	45	Серы диоксид и триоксид серы, аммиак и оксиды азота
33	Озон, диоксид азота и формальдегид	46	Сильные минеральные кислоты (серная, соляная и азотная)
34	Пропионовая кислота и пропионовый альдегид	47	Углерода оксид и пыль цементного производства
35	Свинца оксид, серы диоксид	48	Уксусная кислота и уксусный ангидрид
36	Сероводород и дивинил	49	Уксусная кислота, фенол, этилацетат
37	Сероводород, формальдегид	50	Фурфурол, метиловый и этиловый спирты
38	Сернокислые медь, кобальт, никель, серы диоксид	51	Циклогексан и бензол
39	Серы диоксид, кислота серная	52	Этилен, пропилен, бутилен и амилен

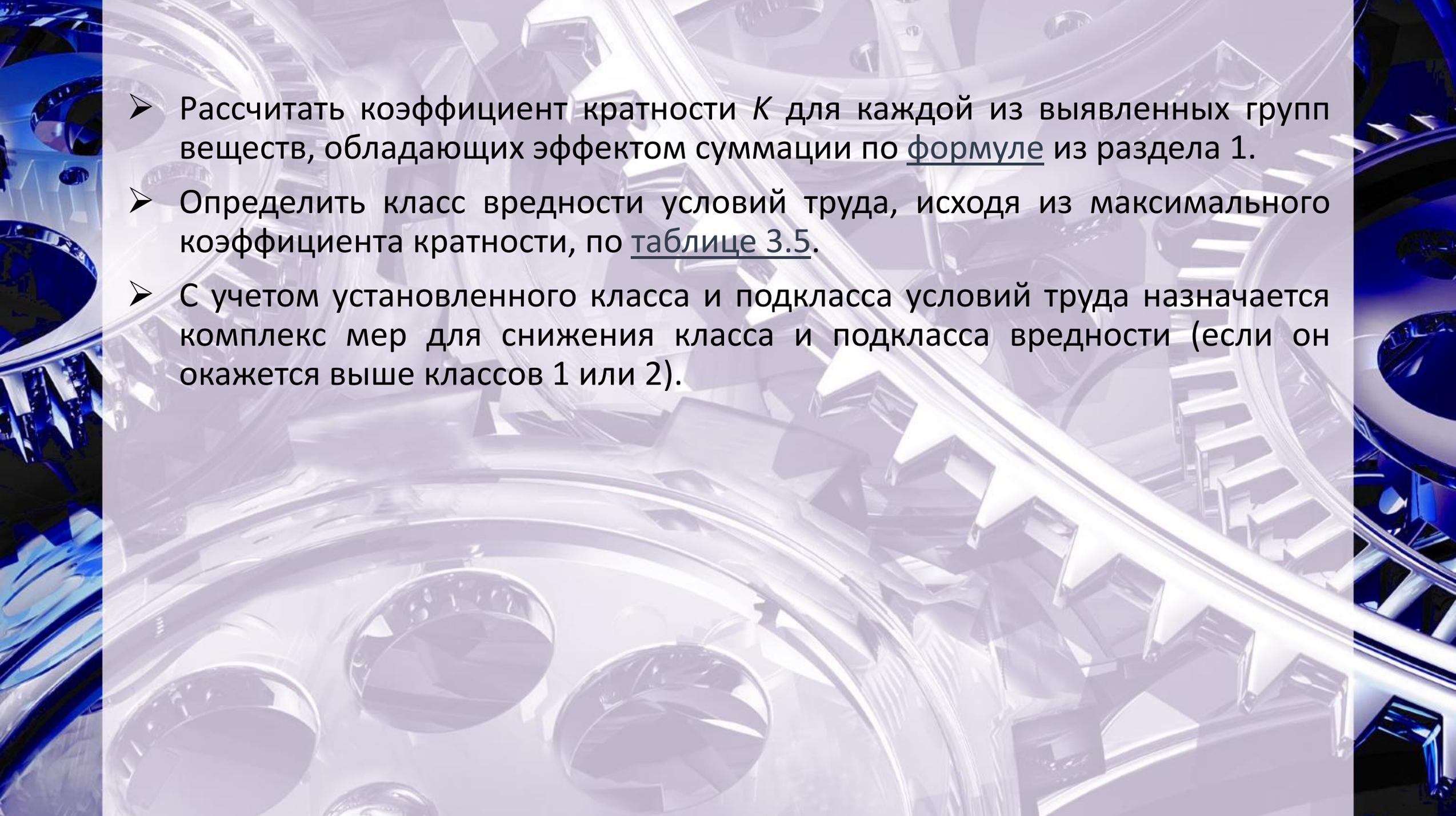
- 
- Рассчитать коэффициент кратности K для каждой из выявленных групп веществ, обладающих эффектом суммации по формуле из раздела 1.
 - Определить класс вредности условий труда, исходя из максимального коэффициента кратности, по таблице 3.5.
 - С учетом установленного класса и подкласса условий труда назначается комплекс мер для снижения класса и подкласса вредности (если он окажется выше классов 1 или 2).

Таблица 3.5 - 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 направленно сти действия	1 (Оптимальные) или 2 (Допустимые)	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.

Продолжение таблицы 3.5

Значение <i>K</i>	Область применения	Класс вредности	Краткая характеристика возможных последствий для здоровья
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)		

Окончание таблицы 3.5

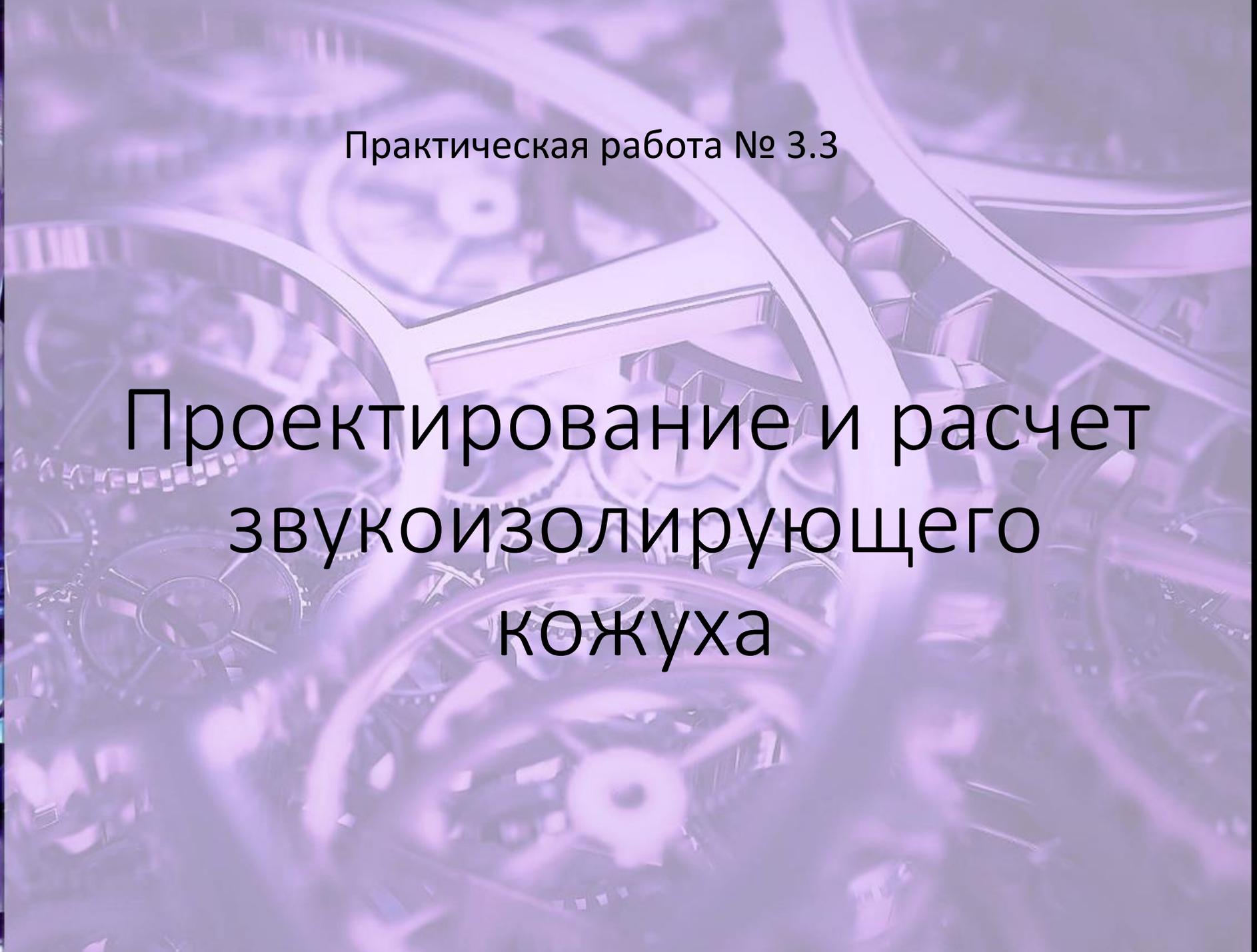
Значение <i>K</i>	Область применения	Класс вредности	Краткая характеристика возможных последствий для здоровья
15,1 – 20 (и более)	Вещества 1 – 4 классов опасности, за исключением (K), (Репр.), (A), (O), (P)	3.4 (Вредные)	Отклонения от нормы могут вызвать тяжелые формы профессиональных заболеваний и высокий уровень заболеваемости с временной утратой трудоспособности.
10,1 - 50	(K), (Репр.), (A), (O), (P)		

4. Контрольные вопросы

- Укажите классификацию химических веществ.
- Перечислите пути проникновения химических веществ в организм человека. Как подразделяются химические вещества по характеру воздействия?
- Какие Вам известны критерии токсичности вещества?
- Что такое комбинированное воздействие веществ? Какие бывают виды комбинированного воздействия?
- Как определяется эффект суммации?



Практическая работа № 3.3



Проектирование и расчет
звукоизолирующего
кожуха

1. Общие сведения

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 (рисунок 3.1)).

Кожухи изготавливают из несгораемых или трудносгораемых 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.

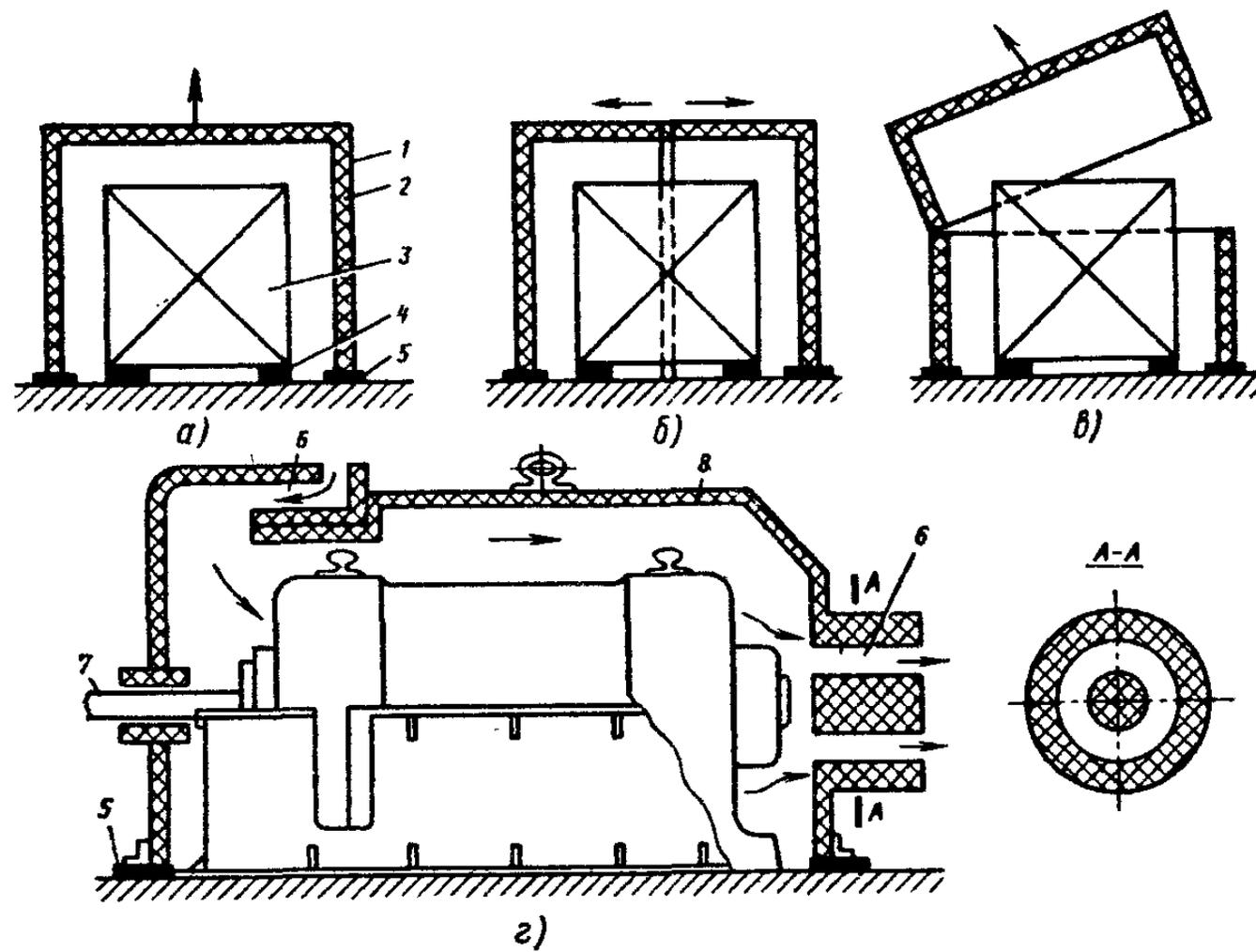
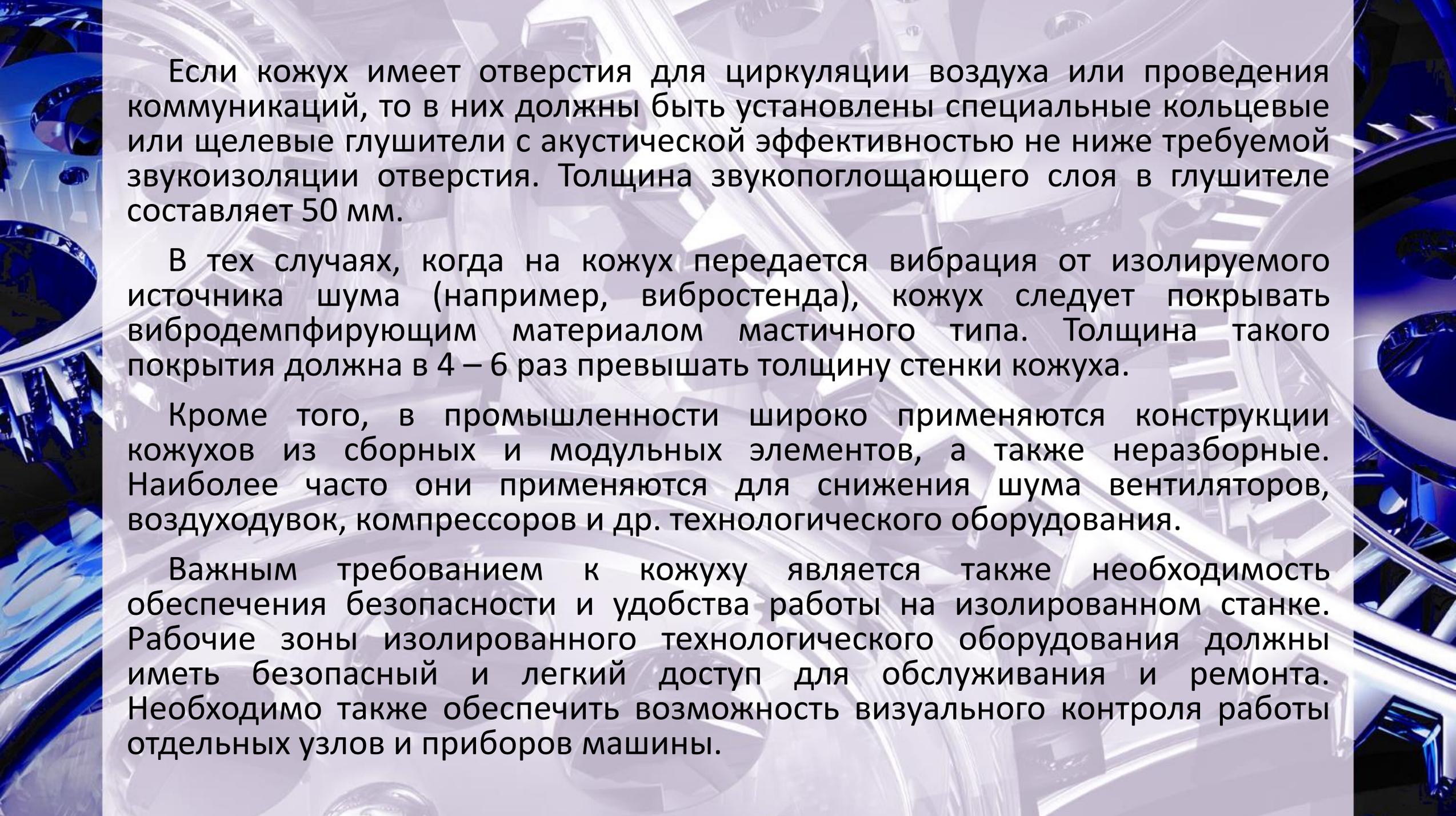


Рисунок 3.1 – Схемы звукоизолирующих кожухов: а – съемного; б - раздвижного; в – капотного типа; г – неоднородной конструкции (1 – стенка кожуха; 2 – звукопоглощающая прокладка; 3 – станок; 4 – виброизолирующие опоры станка; 5 – виброизолирующие прокладки; 6, 7 – глушители; 8 – перфорированный лист или сетка)

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

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.

2. Варианты задания на расчет

№ вар.	Габаритные размеры, м						Уровни звукового давления, дБ, на рабочих местах в октавных полосах частот, Гц							
	источника шума			кожуха			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	A	B	H	a	b	h								
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

№ вар.	Габаритные размеры, м						Уровни звукового давления, дБ, на рабочих местах в октавных полосах частот, Гц								
	источника шума			кожуха			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
	A	B	H	a	b	h									
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	

3. Методика расчета

Задание.

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

- **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 (таблица 3.6).

- **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, м³;

$V_{\text{ист}}$ – объем тела, ограниченного воображаемой поверхностью, вплотную прилегающей к источнику шума, м³.

Таблица 3.6 – 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

- Подобрать материал для кожуха по таблице 3.7 таким образом, чтобы его звукоизолирующая способность была для каждой октавной полосы больше требуемой, т.е. $R_{\text{кож}} \geq R_{\text{тр.кож.}}$.

Таблица 3.7 - 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

- 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.

- Свести результаты расчета в таблицу 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 рисунку 3.2). 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.

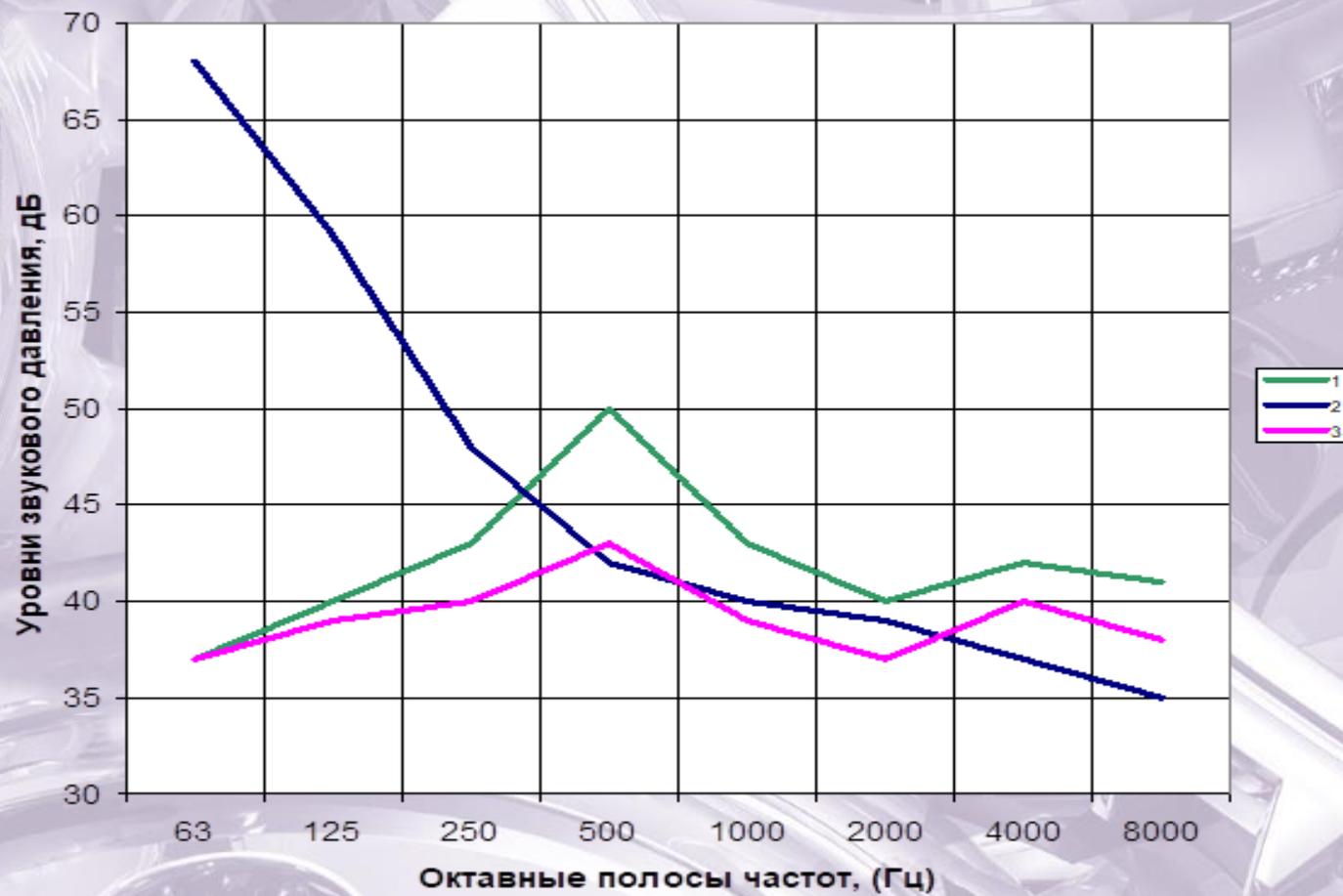


Рисунок 3.2 – Графическая зависимость уровня шума
1 – уровни шума в цехе, 2 – нормативные значения уровня шума,
3 – уровень шума с использованием средств индивидуальной
защиты

4. Контрольные вопросы

- Укажите известные вам виды конструкций звукоизолирующих кожухов.
- Из чего изготавливают звукоизолирующие кожухи?
- Что такое акустический эффект звукоизоляции?
- Как выполняется звукоизоляция стенок сплошного герметичного кожуха?
- 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. Куклин, Н.Г. Детали машин: учебник / Н.Г. Куклин, [и др.] – 8-е изд., перераб. и доп. - М.: Высш. школа, 2008. - 406 с.
3. Детали машин и основы конструирования: метод. указания к выполнению расчетно-графических работ / Л.И. Маркус, [и др.]. – М.: МГУПБ, 2011. – 79 с.
4. 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.
5. Средства защиты в машиностроении. Расчет и проектирование: справочник / Под общ. ред. проф. С.В. Белова. – М.: Машиностроение, 2009. – 368 с.