

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

---

**В.Т. Новиков**

**Оборудование и основы проектирования систем охраны  
окружающей среды.**

**Часть 1. Материалы, коррозия, вентиляция**

Учебное пособие

Томск 2006

УДК 536.24

Новиков В. Т. Оборудование и основы проектирования систем охраны окружающей среды:  
Учебн. пос. /Том. политехн. ун-т.- Томск, 2006.–184 с

В первой части пособия рассматриваются характеристики и маркировка основных конструкционных и вспомогательных материалов (стали, чугун, сплавы алюминия, титана, меди, огнеупоры, уплотнительные, теплоизоляционные, полимерные и лакокрасочные материалы). Приведены способы защиты материалов и конструкций от коррозии, старения и биокоррозии.

Рассмотрены вопросы назначения и классификации промышленной вентиляции и кондиционирования, а также методы оценки их эффективности.

Пособие подготовлено на кафедре технологии основного органического синтеза Томского политехнического университета и предназначено для студентов спец. 280201–«Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов» ИДО и очного отделения.

Печатается по постановлению Редакционно-издательского Совета Томского политехнического университета.

Рецензенты:

Р.К. Нариманов – доцент Томского государственного университета,  
кандидат физико-математических наук;

С.И. Приходько - директор ООО «Химпроцесс» ТНХК

Темплан 2006

© Томский политехнический университет, 2006

ОГЛАВЛЕНИЕ	
Введение	6
1.0 Материалы	7
1.1. Стали	8
1.1.1. Углеродистые конструкционные стали	9
1.1.2. Стали углеродистые качественные конструкционные.	9
1.1.3. Легированные конструкционные стали	10
1.1.4. Специальные конструкционные стали	10
1.2 Чугун	11
1.2.1. Высокопрочный чугун с шаровидным графитом	11
1.2.2. Ковкий чугун	12
1.2.3. Специальные чугуны	12
1.3. Алюминий и его сплавы	12
1.3.1. Деформируемые алюминиевые сплавы	13
1.3.2. Литейные алюминиевые сплавы	14
1.4. Титан и его сплавы	14
1.5. Медь и её сплавы	15
1.6. Сортамент	16
1.7. Огнеупоры	17
1.7.1. Классификация огнеупорных материалов	18
1.7.2 Свойства огнеупоров	20
1.7.3. Распространенные промышленные огнеупоры	20
1.8. Прокладочные и уплотнительные материалы	21
1.9. Теплоизоляционные материалы	22
1.9.1. Характеристики теплоизоляционных материалов	24
1.9.2. Неорганические теплоизоляционные материалы	25
1.9.3. Органические теплоизоляционные материалы	29
1.10. Полимерные материалы	32
1.10.1. Классификация полимеров	32
1.10.2. Связь между химической структурой и свойствами полимера	34
1.10.2. 1. Природа связи в полимерах	35
1.10.2. 2. Строение полимерных цепей	35
1.10.2. 3. Кристалличность	36
1.10.2. 4. Температура стеклования	36
1.10.3. ингредиенты полимерных материалов	36
1.10.4. Пластические массы	39
1.10.5. Каучуки и резины	40
1.11. Лакокрасочные материалы	43
1.11.1. Классификация ЛКМ	43
1.10.2. Компоненты ЛКМ	45
1.10.3. Маркировка ЛКМ	47
2.0. Общие сведения о процессах коррозии, старения и биоповреждений	49
2.2. Общая характеристика проблемы коррозии	49
2.3. Классификация процессов коррозии	51
2.4. Методы исследования коррозии металлов	53
2.5. Атмосферная коррозия	54
2.5.1. Особенности коррозии и защиты в замкнутом пространстве и с ограниченным обменом воздуха	58
2.6. Методы защиты от атмосферной коррозии	59
2.7. Коррозия в почвах и грунтах	59
2.7.1. Методы защиты подземных сооружений	63
2.7.1.1. Электродренажная защита	64
2.7.1.2. Протекторная защита	64
2.7.1.3. Катодная защита внешним током	65
2.7.1.4. Анодные заземления	65
2.8. Процессы старения	66
2.8.1. Классификация процессов, протекающих при старении полимеров	67

2.8.2. Методы исследования старения полимерных материалов	68
2.8.3. Методы и средства защиты от старения	69
2.9. Биоповреждения. Основные понятия и терминология	70
2.9.1. Классификация биоповреждений	72
2.9.2. Общая характеристика проблемы биоповреждений	73
2.9.3. Методы исследования биоповреждений	74
2.10. Разрушение цементного камня	76
2.11. Защита от коррозии, старения и биоповреждений	78
2.11.1. Методы защиты от коррозии	79
2.12. Защита от коррозии аппаратов и реакторов	81
2.12.1. Классификация защитных покрытий	82
2.12.2. Выбор вида защитного покрытия	83
2.12.3. Подготовка поверхностей аппаратов	83
2.12.4. Футерование	87
2.12.5. Лакокрасочные материалы	87
2.12.6. Гуммировочные покрытия	87
2.12.7. Эмалирование	89
2.12.8. Пластмассовые покрытия	91
2.12.9. Металлические покрытия	92
3.0. Вентиляция и кондиционирование воздуха	93
3.1. Комфортность	93
3.2. Принципы вентиляции и кондиционирования	95
3.3. Классификация систем вентиляции	96
3.3.1. Естественная вентиляция	99
3.3.2. Аэрация	99
3.3.3. Искусственная вентиляция	100
3.3.4. Аспирация.	103
3.3.5. Пневмотранспорт	105
3.4. Состав систем кондиционирования	107
3.5. Воздушное отопление	108
3.6. Современные тенденции климатизации зданий	108
3.7. Теплоутилизация в системах климатизации	111
3.8. Энергосберегающие системы аспирации в деревообработке	112
3.9. Чистка вентиляции	113
4.0. Вредные выделения и необходимый воздухообмен в помещениях	114
4.1. Газовыделения	114
4.2. Тепловыделения	115
4.3. Влаговыведения	116
4.4. Определение необходимых воздухообменов	117
4.4.1. Определение необходимого воздухообмена при борьбе с вредными газами и парами	117
4.4.2. Воздухообмена для удаления избыточного тепла	118
4.4.3. Определение необходимого воздухообмена для удаления избыточной влаги	118
4.3.4. Определение необходимого воздухообмена при одновременном поступлении в помещение тепла и влаги	118
4.3.5. Определение необходимого воздухообмена для борьбы с пылью	119
5.1. Показатели эффективности вентиляции	119
6.0. Литература	123

## ВВЕДЕНИЕ

В конце XX века объем получаемых загрязняющих веществ антропогенного происхождения на Земле стал соизмерим с масштабами природных процессов миграции и аккумуляции различных соединений. Влияние химического загрязнения воды, почвы и воздуха на здоровье испытывают уже жители не только городов, но и сельских районов.

Что же в первую очередь характеризует неблагополучие в природопользовании на рубеже XXI столетия? Здесь следует назвать два принципиальных аспекта: *во-первых*, интенсификация индустриального вмешательства в окружающую среду. *Во-вторых*, многостороннее замусоривание окружающей среды, всех геосфер, включая околоземное пространство, технологическими отходами. В итоге – резкое ухудшение состояния экологических систем, нередко даже гибель уникальных природных комплексов, сокращение и исчезновение популяций отдельных видов растений и животных, опасность необратимости изменений в природе, которые могут привести к не прогнозируемым отрицательным последствиям для самого человека и общества в целом.

Основным звеном экологической цепи является земная атмосфера. Через нее происходит обмен кислородом, влагой и другими веществами между различными регионами планеты. Состояние атмосферы определяет климат и погоду; сочетание температуры, давления, влажности, загрязнения и других характеристик атмосферы влияют на состояние здоровья людей и животных.

В промышленности образуются загрязняющие вещества в трех фазах: жидкие, твердые и газообразные (летучие). Замкнутый цикл по жидким сбросам получил уже широкое индустриальное распространение. В отношении твердых отходов есть то преимущество, что их можно складировать (в виде полигонов, терриконов, отвалов или другими способами) и затем использовать или перерабатывать по мере надобности. Что же касается выбросов (летучие), то с ними все обстоит гораздо сложнее. На обработку (очистку и обезвреживание) огромных объемов летучих выбросов отводится крайне ограниченное время.

Промышленные выбросы (пары, газы, аэрозоли), попав в атмосферу, разносятся с воздушными течениями на сотни и тысячи километров, создавая в континентальном и глобальном масштабе ситуацию, которую крайне трудно оценить и еще труднее прогнозировать. Если же они концентрируются в атмосфере на сравнительно небольшом пространстве вокруг мест своего образования, то это нередко приводит к серьезнейшим последствиям, вплоть до массовых отравлений людей, гибели скота и сельскохозяйственных культур.

«Необходимо обратить внимание на то, что очистные сооружения нельзя рассматривать как панацею, которая исправит все огрехи специалистов, разрабатывающих технологию основного производства. Эту сторону вопроса обязаны хорошо понимать и те, кто готовит задания на проектирование газоочистки, и те, кто принимает и анализирует эти задания. Роль и место газоочистных сооружений в системе мероприятий по защите атмосферы состоит в том, чтобы ликвидировать и обезвреживать те выбросы, образование которых невозможно предотвратить никакими профилактическими мерами. Такая постановка вопроса диктуется элементарными экономическими соображениями. По мировым, данным, стоимость газоочистных сооружений составляет от 10 до 40÷45% (в некоторых случаях даже до 50%) по отношению к стоимости основного газопылевыделяющего оборудования и, в связи с ужесточением санитарных требований, имеет тенденцию к дальнейшему росту.

Существуют ситуации, когда строительство газоочистительных сооружений вообще оказывается практически невозможным. К примеру, через верхние фонари цехов электролиза алюминия в некоторых случаях выбрасывается ежечасно в каждом цехе несколько десятков миллионов кубометров воздуха с ничтожной концентрацией фтористого водорода. Абсолютный выброс HF при этом огромен, и он наносит ощутимый ущерб окружающей среде. Но чтобы очистить всю эту массу воздуха, нужно рядом с каждым цехом электролиза построить газоочистительные комплексы, по масштабам соизмеримые с самим цехом. Эксплуатация их окажется весьма сложной и дорогой, особенно в зимнее время в районах с суровыми

климатическими условиями. Решение этой проблемы надо начинать с того, что необходимо тщательно герметизировать электролизеры и свести к минимуму выделение из них HF.

Заказчики проектов очистных установок стремятся к тому, чтобы эти сооружения были высокоэффективными, надежными, долговечными и недорогими, то есть обладали бы высокими технико-экономическими показателями» [1].

Показатели любых промышленных сооружений определяются прежде всего техническим уровнем их проектов.

В связи с этим целью данного пособия является знакомство студентов со следующими вопросами:

- Основные типы и свойства конструкционных и вспомогательных материалов;
- Процессами коррозии, старения и биоповреждения материалов;
- Назначение и состав промышленной вентиляции;
- Состав и конструкции элементов очистных установок;
- Основные элементы и узлы аппаратов и реакторов;
- Основы проектирования очистных установок.

Знания этих разделов нужны инженерам-экологам как при проектирование очистных установок, так и для их грамотной эксплуатации.

## 1.0. МАТЕРИАЛЫ

При изготовлении отдельных элементов и строительстве очистных установок используют различные конструкционные, строительные, теплоизоляционные, огнеупорные, изолирующие, прокладочные и др. материалы. Среди конструкционных материалов в технике защиты окружающей среды и химическом машиностроении наиболее распространены сталь, чугун, пластмассы, цветные металлы, бетон и др.

### 1.1. СТАЛИ

Сталь (польск. *stal*, от нем. *Stahl*)—деформируемый (ковкий) сплав железа с углеродом (С до 2,14%) и другими элементами. Сталь—основной конструкционный материал, широко применяемый в промышленности. Она сравнительно недорога и производится в больших количествах. Сталь получают главным образом из смеси чугуна, выплавляемого в доменных печах, со стальным ломом. Основные агрегаты для производства стали —конвертеры, мартеновские печи и электропечи. Полученную в них сталь называют соответственно конвертерной, мартеновской и электросталью. В зависимости от типа футеровки печей различают основную и кислую сталь.

Стали классифицируют по химическому составу, назначению, качеству, степени раскисления, структуре и т.д.

**Классификация по химическому составу.** По химическому составу стали подразделяют на углеродистые и легированные. Сталь, свойства которой в основном зависят от содержания углерода, называют *углеродистой*. Углеродистые стали по содержанию в них углерода подразделяют на низкоуглеродистые (до 0,25% С), среднеуглеродистые (0,25-0,6% С) и высокоуглеродистые (более 0,6% С).

*Легированной* называют сталь, в состав которой входят специально введенные элементы для придания ей требуемых свойств. Легированную сталь делят на три группы: низколегированную (с суммарным содержанием легирующих элементов до 2,5%), среднелегированную (от 2,5 до 10%) и высоколегированную (свыше 10%).

**Классификация по назначению.** Стали по назначению делят на конструкционные, инструментальные и стали специального назначения с особыми свойствами.

*Конструкционные стали* представляют наиболее обширную группу, предназначенную для изготовления деталей машин, приборов и элементов строительных конструкций. Из конструкционных сталей можно выделить цементуемые, улучшаемые, автоматные, высокопрочные, арматурные рессорно-пружинные, шарикоподшипниковые, строительные низколегированные, углеродистые и легированные конструкционные стали и т.д.

*Инструментальные стали* подразделяют на стали для изготовления режущего, измерительного инструмента и штампов холодного и горячего деформирования.

*Стали специального назначения*—нержавеющие (коррозионностойкие), жаростойкие, жаропрочные, износостойкие, криогенные стали и др.

**Классификация по качеству.** Стали по качеству классифицируют на стали обыкновенного качества, качественные, высококачественные и особо высококачественные. Под качеством понимается совокупность свойств стали, определяемых металлургическим процессом ее производства. Однородность химического состава, строение и свойства стали зависят от содержания вредных примесей и газов (кислорода, водорода, азота). Основными показателями для разделения сталей по качеству являются нормы содержания вредных примесей (серы, фосфора). *Стали обыкновенного качества* содержат до 0,06% S и 0,07% P, *качественные* — до 0,035% S и 0,035% P, *высококачественные* - не более 0,025% S и 0,025% P, а *особо высококачественные* - не более 0,015% S и 0,025% P.

**Классификация по степени раскисления.** Стали по степени раскисления классифицируют на спокойные, полуспокойные и кипящие. *Раскислением* называют процесс удаления кислорода из жидкой стали. Не раскисленная сталь обладает недостаточной пластичностью и подвержена хрупкому разрушению при горячей обработке давлением.

*Спокойные стали* раскисляют марганцем, алюминием и кремнием в печи и ковше. Они затвердевают в изложнице спокойно, без газовыделения, с образованием в верхней части слитков усадочной раковины.

*Кипящие стали* раскисляют только марганцем. Они раскислены недостаточно. Перед разливкой в них содержится повышенное количество кислорода, который при затвердевании слитка частично реагирует с углеродом и выделяется в виде пузырей окиси углерода, создавая впечатление "кипения" стали. Кипящие стали относительно дешевы.

*Полуспокойные стали* по степени их раскисления занимают промежуточное положение между спокойными и кипящими сталями. Частично раскисляют в печи и ковше, а частично—в изложнице за счет содержащегося в металле углерода.

### 1.1.1. Углеродистые конструкционные стали

Углеродистые конструкционные стали подразделяют на три основные группы: стали углеродистые обыкновенного качества, качественные углеродистые стали и углеродистые стали специального назначения (автоматную, котельную и др.).

*Стали углеродистые обыкновенного качества.* Эти наиболее широко распространенные стали поставляют в виде проката в нормализованном состоянии и применяют в машиностроении, строительстве и в других отраслях.

Углеродистые стали обыкновенного качества обозначают буквами *Ст* и цифрам и от 0 до 6. Цифры—это условный номер марки. Чем больше число, тем больше содержание углерода, выше прочность и ниже пластичность.

В зависимости от назначения и гарантируемых свойств углеродистые стали обыкновенного качества поставляют трех групп: *А, Б, В* (табл. 1). Индексы, стоящие справа от номера марки, означают: *кп* — кипящая, *пс* — полуспокойная, *сп* — спокойная сталь. Между индексом и номером марки может стоять буква *Г*, что означает повышенное содержание марганца. В обозначениях марок слева от букв *Ст* указаны группы (*Б* и *В*) стали.

По требованиям к нормируемым показателям (химического состава и механических свойств) стали обыкновенного качества подразделяют на категории. Категорию стали обозначают соответствующей цифрой правее индекса степени раскисления, например *Ст5Гпс3* означает: сталь группы *А*, марки *Ст5*, с повышенным содержанием марганца, полуспокойная, третьей категории. В случае заказа стали без указания степени раскисления, но определенной категории последняя пишется за номером марки через тире, например *Ст4-3*. Сталь первой категории пишется без указания номера последней, например *Ст4пс*.

Табл. 1.1. Углеродистые стали обыкновенного качества.

Группы	Гарантируемые свойства в состоянии поставки	Марки (с учетом степени раскисления)	Категории
А	Механические свойства	Ст0, Ст1кп, Ст1пс, Ст1сп, Ст2кп, Ст2пс, Ст2сп, Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, Ст3Гпс, Ст4кп, Ст4пс, Ст4сп, Ст5пс, Ст5сп, Ст5Гпс, Ст6пс, Ст6сп	1, 2, 3
Б	Химический состав	БСт0, БСт1кп, БСт1сп, БСт2кп, БСт2пс, БСт3кп, БСт3пс, БСт3сп, БСт3Гпс, БСт4кп, БСт4пс, БСт6пс, БСт6сп	1,2
В	Механические свойства и химический состав	ВСт1кп, ВСт1пс, ВСт1сп, ВСт2кп, ВСт2пс, ВСт2сп, ВСт3кп, ВСт3пс, ВСт3сп, ВСт3Гпс, ВСт4кп, ВСт4пс, ВСт4сп, ВСт5сп	1, 2, 3, 4, 5, 6

**1.2.2. Стали углеродистые качественные конструкционные.** От сталей обыкновенного качества они отличаются меньшим содержанием серы, фосфора и других вредных примесей, более узкими пределами содержания углерода в каждой марке и большинстве случаев более высоким содержанием кремния и марганца.

Сталь маркируют двузначными числами, которые обозначают содержание углерода в сотых долях процента, и поставляют с гарантированными показателями химического состава и механических свойств (табл. 3). По степени раскисления сталь подразделяют на кипящую (*кп*), полуспокойную (*пс*), спокойную (без указания индекса). Буква *Г* в марках сталей указывает на повышенное содержание марганца (до 1%).



Сталь углеродистую качественную поставляют катаной, ковальной, калиброванной, круглой с особой отделкой поверхности (серебрянка).

Стали листовые для котлов и сосудов, работающих под давлением, применяют для изготовления паровых котлов, судовых топок, камер горения газовых турбин, аппаратов и других деталей. Они должны работать при переменных давлениях и температуре до 450С. Кроме того, котельная сталь должна хорошо свариваться. Для получения таких свойств в углеродистую сталь вводят технологическую добавку (титан) и дополнительно раскисляют ее алюминием. Выпускают следующие марки углеродистой котельной стали 12К, 15К, 16К, 18К, 20К, 22К с содержанием в них углерода от 0,08 до 0,28%. Эти стали поставляют в виде листов с толщиной до 200 мм и поковок в состоянии после нормализации и отпуска.

### 1.1.3. Легированные конструкционные стали

Для улучшения физических, химических, прочностных и технологических свойств стали легируют, вводя в их состав различные легирующие элементы. Стали могут содержать один или несколько легирующих элементов, которые придают им специальные свойства.

**Маркировка легированных сталей.** Марка легированной качественной стали состоит из сочетания букв и цифр, обозначающих ее химический состав. Легирующие элементы имеют следующие обозначения: азот (А), селен (Е), фосфор (П), хром (Х), никель (Н), марганец (Г), кремний (С), молибден (М), вольфрам (В), титан (Т), алюминий (Ю), ванадий (Ф), медь(Д), бор (Р), кобальт(К), ниобий (Б), цирконий (Ц), редкоземельный (Ч).

Цифра, стоящая после буквы, указывает на содержание легирующего элемента в процентах. Если цифра не указана, то легирующего элемента содержится до 1,5%. В конструкционных качественных легированных сталях две первые цифры марки показывают содержащееся углерода в сотых долях процента. Кроме того, высококачественные легированные стали имеют в конце буквы А, а особо высоко-качественные—Ш. Например, сталь марки 30ХГСН2А: высококачественная легированная сталь содержит 0,30% углерода, до 1% хрома, марганца, кремния и никеля до 2%; сталь марки 95Х18Ш: особо высококачественная, выплавленная методом электрошлакового переплава с вакуумированием, содержит 0,9—1,0% углерода; 18% хрома, 0,030% фосфора и 0,015% серы.

### 1.1.4. СПЕЦИАЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИОННЫЕ СТАЛИ

Специальные стали—это высоколегированные (свыше 10%) стали, обладающие особыми свойствами—коррозионной стойкостью, жаростойкостью, жаропрочностью, износостойкостью и др.

**Коррозионностойкие стали.** Коррозионностойкой (или нержавеющей) называют сталь, обладающую высокой химической стойкостью в агрессивных средах. Коррозионностойкие стали получают легированием низко- и среднеуглеродистых сталей хромом, никелем, титаном, алюминием, марганцем. Антикоррозионные свойства сталям придают введением в них большого количества хрома или хрома и никеля. *Хромистые стали* более дешевые, однако хромоникелевые обладают большей коррозионной стойкостью. Содержание хрома в нержавеющей стали должно быть не менее 12% (табл. 1.2). При меньшем количестве хрома сталь не способна сопротивляться коррозии, так как ее электрохимический потенциал становится отрицательным.

Более коррозионностойкая (в кислотных средах) сталь 12Х17. Для изготовления сварных конструкций эта сталь не рекомендуется в связи с тем, что при нагреве ее выше 900—950<sup>0</sup>С и быстром охлаждении (при сварке) происходит обеднение периферийной зоны зерен хромом (ниже 12%). Это объясняется выделением карбидов хрома по границам зерен, что приводит к межкристаллитной коррозии.

Для предотвращения межкристаллитной коррозии сталь легируют титаном, например сталь 12Х18Н9Т, или снижают содержание углерода, например сталь 04Х18Н10.

Для экономии дорогостоящего никеля его частично заменяют марганцем. Например, сталь 10Х14Г14НЗ рекомендуется как заменитель стали 12Х18Н9. Сталь 08Х21Н6М2Т применяют для изготовления деталей и сварных конструкций, работающих в кислотных средах повышенной агрессивности.

Коррозионная стойкость хромоникельмолибденомеднистых сталей в некоторых агрессивных средах очень велика. Такие стали широко используют в химической, пищевой, автомобильной и других отраслях промышленности.

**Жаростойкие стали.** При высоких температурах металлы и сплавы вступают во взаимодействие с окружающей газовой средой, что вызывает газовую коррозию (окисление) и разрушение материала. Для изготовления конструкций и деталей, работающих в условиях повышенной температуры (400-900°C) и окисления в газовой среде, применяют специальные жаростойкие стали. Под жаростойкостью (или окалиностойкостью) принято понимать способность материала противостоять коррозионному разрушению под действием воздуха или других газовых сред при высоких температурах. К жаростойким относят стали, содержащие алюминий, хром, кремний. Такие стали не образуют окислы при высоких температурах. Например, хромистая сталь, содержащая 30% Cr, устойчива до 1200°C. Введение небольших добавок алюминия резко повышает жаростойкость хромистых сталей. Стойкость таких материалов при высоких температурах объясняется образованием на их поверхности плотных защитных пленок, состоящих в основном из оксидов легирующих элементов (хрома, алюминия, кремния). Область применения жаростойких сталей – изготовление различных деталей нагревательных устройств и энергетических установок.

**Жаропрочные стали.** Некоторые детали машин (двигателей внутреннего сгорания, паровых и газовых турбин, металлургического оборудования и т. п.) длительное время работают при больших нагрузках и высоких температурах (500-1000°C). Для изготовления таких деталей применяют специальные жаропрочные стали.

Под *жаропрочностью* принято понимать способность материала выдерживать механические нагрузки без существенных деформаций при высоких температурах.

*Табл. 1.2.- Коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные стали*

Марка	Рабочая T, C, не более	Назначение
<b>Коррозионностойкие</b>		
12X13	450	Лопатки гидротурбин, компрессоров, клапанов и арматура для химической промышленности, предметы домашнего обихода
30X13	450	Валы, болты, шестерни, пружины, работающие в условиях коррозионной среды и больших напряжений
40X13		Шарикоподшипники, пружины, режущий хирургический и бытовой инструмент
04X18H10 12X18H10T	600	Конструкции и детали, изготавливаемые сваркой и штамповкой в химической промышленности
<b>Жаростойкие</b>		
40X9C2	850	Клапаны двигателей внутреннего сгорания
08X17T	900	Детали, работающие в среде топочных газов с повышенным содержанием серы
36X18H25C2	1100	Сопловые аппараты и жаровые трубы газотурбинных установок
<b>Жаропрочные</b>		
45X4H14B2M	800-900	Клапаны двигателей внутреннего сгорания большой мощности
08X16H13M2Б	600-700	Лопатки газовых турбин
<b>Износостойкие</b>		
ШХ6, ШХ9, ШХ15		шарики и ролики подшипников.
Г13Л		Железнодорож. крестовины, звенья гусениц

К числу жаропрочных относят стали, содержащие хром, кремний, молибден, никель и др. Из таких сталей изготавливают элементы теплообменной аппаратуры, детали котлов, впускные и выпускные клапаны автомобильных и тракторных двигателей.

## 1.2. ЧУГУН

Сплав железа с углеродом ( $C > 2,14 \%$ ) называют **чугуном**. Присутствие эвтектики в структуре чугуна обуславливает его использование исключительно в качестве литейного сплава. Углерод в чугуне может находиться в виде цементита или графита, или одновременно в виде цементита и графита. Цементит придает излому специфический светлый блеск. Поэтому чугун, в котором весь углерод находится в виде цементита, называют *белым*. Графит придает излому чугуна серый цвет, поэтому чугун называют *серым*. В зависимости от формы графита и условий его образования различают следующие чугуны: серый, высокопрочный, антифрикционный и ковкий.

Серый чугун (технический) представляет собой, по существу, сплав Fe—Si—C, содержащий в качестве постоянных примесей Mn, P и S. В структуре серых чугунов большая часть или весь углерод находится в виде графита. Характерная особенность структуры серых чугунов, определяющая многие его свойства, заключается в том, что графит имеет в поле зрения микрошлифа форму пластинок. Чем выше содержание в чугуне углерода, тем больше образуется графита и тем ниже его механические свойства. В то же время для обеспечения высоких литейных свойств (хорошей жидкотекучести) углерода должно быть не менее 2,4 % C.

Пластинки графита уменьшают сопротивление отрыву, временное сопротивление и особенно сильно пластичность чугуна. Относительное удлинение при растяжении серого чугуна независимо от свойств металлической основы практически равно нулю ( $\sim 0,5 \%$ ). Графитные включения мало влияют на снижение предела прочности при сжатии и твердость, величина их определяется главным образом структурой металлической основы чугуна. Разрушающая нагрузка при сжатии в зависимости от качества чугуна и его структуры в 3—5 раз больше, чем при растяжении. Поэтому чугун рекомендуется использовать преимущественно для изделий, работающих на сжатие.

Графит, нарушая сплошность металлической основы, делает чугун малочувствительным к всевозможным концентраторам напряжений (дефектам поверхности, надрезам, отверстиям, выточкам и т. д.). Вследствие этого серый чугун имеет примерно одинаковую конструктивную прочность в отливках простой формы или с ровной поверхностью и сложной формы с надрезами или с плохо обработанной поверхностью. Графит повышает износостойкость и антифрикционные свойства чугуна вследствие собственного «смазывающего» действия и повышения прочности пленки смазочного материала. Очень важно, что графит улучшает обрабатываемость резанием, делая стружку ломкой.

**Серый чугун** маркируется буквами С—серый и Ч—чугун. После букв следуют цифры, указывающие минимальное значение временного сопротивления  $10^{-1}$  МПа ( $\text{кгс/мм}^2$ ). Например СЧ10, СЧ15, СЧ18, СЧ30, СЧ35.

**Антифрикционные чугуны** применяют для изготовления подшипников скольжения, втулок и других деталей, работающих при трении о металл, чаще в присутствии смазочного материала. Эти чугуны должны обеспечивать низкое трение (малый коэффициент трения), т. е. антифрикционность. Антифрикционные свойства чугуна определяются соотношением перлита и феррита в основе, а также количеством и формой графита. Антифрикционные чугуны изготавливают следующих марок (А — антифрикционный, Ч — чугун, С — серый): АЧС-1, АЧС-2 и АЧС-3

### 1.2.1. ВЫСОКОПРОЧНЫЙ ЧУГУН С ШАРОВИДНЫМ ГРАФИТОМ

Высокопрочными называют чугуны с шаровидным графитом, который образуется в литой структуре в процессе кристаллизации.

Шаровидный графит, имеющий минимальную поверхность при данном объеме, значительно меньше ослабляет металлическую основу, чем пластинчатый графит, и не является активным концентратором напряжений.

Для получения шаровидного графита чугун модифицируют, чаще путем обработки жидкого металла магнием ( $0,03 \div 0,07 \%$ ) или введением  $8 \div 10 \%$  магниевых лигатур с никелем или ферросилицием.

Чугуны с шаровидным графитом (ЧШГ) имеют более высокие механические свойства, не уступающие свойствам литой углеродистой стали, сохраняя при этом хорошие литейные свойства и обрабатываемость резанием, способность гасить вибрации, высокую износостойкость и т. д. Обычный состав чугуна:  $3,2 \div 3,6 \%$  C;  $1,6 \div 2,9 \%$  Si;  $0,3 \div 0,7 \%$  Mn до  $0,02 \%$  S и до  $0,1 \%$  P.

Высокопрочный чугун маркируется только цифрой, указывающей величину временного сопротивления (ВЧ85, ВЧ40, ВЧ45, ВЧ50, ВЧ60, ВЧ70, ВЧ80, ВЧ100).

Отливки из высокопрочного чугуна широко используют в различных отраслях народного хозяйства; в автостроении и дизелестроении для коленчатых валов, крышек цилиндров и других деталей; в тяжелом машиностроении—для многих деталей прокатных станков; в кузнечно-прессовом оборудовании (например, для шабот-молотов, траверс прессов, прокатных валков); в химической и нефтяной промышленности — для корпусов насосов, вентилях и т. д.

Антифрикционные чугуны (ГОСТ 1585—85) с шаровидным графитом изготавливают двух марок: АЧВ-1 (2,8÷3,5 % С; 1,8÷2,7 % Si; 0,6÷1,2 % Mn; <0,7 % Si) и АЧВ-2 с повышенным содержанием кремния (2,2÷2,7 % Si) и ферритно-перлитной структурой (~50 % перлита).

Перлитный высокопрочный чугун АЧВ-1 предназначен для работы в узлах трения с повышенными окружными скоростями в паре с закаленным или нормализованным валом. Антифрикционный чугун АЧВ-2 применяют в паре с «сырым» (в состоянии поставки) валом.

### **1.2.2. КОВКИЙ ЧУГУН**

Ковкий чугун получают длительным нагревом при высоких температурах (отжигом) отливок из белого чугуна. В результате отжига образуется графит хлопьевидной формы. Такой графит по сравнению с пластинчатым меньше снижает прочность и пластичность металлической основы структуры чугуна.

Ковкий чугун маркируют буквами КЧ и цифрами. Первые две цифры указывают временное сопротивление (в  $10^{-1}$  МПа (кгс/мм<sup>2</sup>)), вторые—относительное удлинение (в %). Из отливок ковкого чугуна изготавливают детали, работающие при ударных и вибрационных нагрузках. Так, ферритные ковкие чугуны КЧ37-12 и КЧ35-10 используют для изготовления деталей, эксплуатируемых при высоких динамических и статических нагрузках (картеры редукторов, ступицы, крюки, скобы и т. д.), а КЧ30-6 и КЧ33-8 —для менее ответственных деталей (головки, хомутики, гайки, глушители, фланцы, муфты и т. д.). Твердость ферритного чугуна 163 НВ. Перлитные ковкие чугуны КЧ50-5 и КЧ55-4 обладают высокой прочностью, умеренной пластичностью и хорошими антифрикционными свойствами. Из перлитного ковкого чугуна изготавливают вилки карданных валов, звенья и ролики цепей конвейера, втулки, муфты, тормозные колодки и т. д. Ковкий чугун применяют главным образом для изготовления тонкостенных деталей в отличие от высокопрочного магниевого чугуна, который используют для деталей большого сечения. Некоторое применение нашли антифрикционные ферритно-перлитные чугуны АЧК-1 и АЧК-2.

### **1.2.3. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ЧУГУНЫ**

К этой группе чугунов относятся жаростойкие, которые обладают окалинотойкостью и трещиноустойчивостью, жаропрочные, обладающие высокой длительной прочностью и ползучестью при высоких температурах и коррозионно-стойкие чугуны.

Жаростойкость серых чугунов и ЧШГ может быть повышена легированием кремнием (ЧС5) и хромом (ЧХ28, ЧХ32). (Ч-чугун, С-кремний, Х-хром, Н-никель, Д-медь. Цифры—содержание элементов в %). Эти чугуны характеризуются высокой жаростойкостью (окалинотойкостью) до 700÷800°С на воздухе, в топочных и генераторных газах. Высокой термостойкостью и сопротивляемостью окалинеобразованию обладают аустенитные чугуны: высоколегированный никелевый серый ЧН15Д7 и с шаровидным графитом ЧН15Д3Ш. В качестве жаропрочных чугунов используют чугуны с шаровидным графитом ЧН19Х3Ш и ЧН11Г7Ш.

В качестве коррозионностойких применяют чугуны, легированные кремнием (ферросилиды) — ЧС13, ЧС15, ЧС17 и хромом — ЧХ22, ЧХ28, ЧХ32. Они обладают высокой коррозионной стойкостью в серной, азотной и ряде органических кислот. Для повышения коррозионной стойкости кремнистых чугунов их легируют молибденом ЧС15М4, ЧС17М3 (антихлоры). Высокой коррозионной стойкостью в щелочах обладают никелевые чугуны, например аустенитный чугун ЧН15Д7.

## **1.3. Алюминий и его сплавы**

Алюминий — металл серебристо-белого цвета. Температура плавления 600 °С. Алюминий имеет кристаллическую ГЦК решетку. Наиболее важной особенностью алюминия является низкая

плотность—2700 кг/м<sup>3</sup> против 7800 кг/м<sup>3</sup> для железа и 8940 кг/м<sup>3</sup> для меди. Алюминий обладает высокой электрической проводимостью, составляющей 65% электрической проводимости меди. В зависимости от чистоты различают алюминий особой чистоты: А999 (99,999 % Al); высокой чистоты: А995 (99,995 % Al), А99 (99,99 % Al), А97 (99,97 % Al), А95 (99,95 % Al) и технической чистоты: А85, А8, А7, А6, А5, А0 (99,0 % Al).

Алюминий обладает высокой коррозионной стойкостью вследствие образования на его поверхности тонкой и прочной пленки Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Чем чище алюминий, тем выше коррозионная стойкость. Алюминий легко обрабатывается давлением, но обработка резанием затруднена, сваривается всеми видами сварки. Технический алюминий ввиду низкой прочности применяют для изготовления элементов конструкции и деталей, не несущих нагрузки, когда требуются высокая пластичность, хорошая свариваемость, сопротивление коррозии и высокие теплопроводность и электрическая проводимость. Технический алюминий изготавливают в виде листов, профилей, прутков, проволоки и других изделий и маркируют АД0 и АД1. Из технического алюминия изготавливают различные трубопроводы, палубные надстройки морских и речных судов, кабели, электропровода, шины, конденсаторы, корпуса часов, фольгу, витражи, перегородки в комнатах, двери, рамы, посуду, аппараты пищевой промышленности, цистерны для молока и т. д. Алюминий высокой чистоты предназначается для фольги, токопроводящих и кабельных изделий.

Наибольшее распространение получили сплавы Al–Сi, Al–Si, Al–Mg, Al–Сi–Mg, Al–Сi–Mg–Si, Al–Mg–Si, а также Al–Zn–Mg–Сi.

Все сплавы алюминия можно разделить на *деформируемые*, предназначенные для получения полуфабрикатов (листов, плит, прутков, профилей, труб и т. д.), а также поковок и штамповых заготовок путем прокатки, прессования,ковки и штамповки, и *литейные*, предназначенные для фасонного литья.

Сплавы алюминия, обладая хорошей технологичностью во всех стадиях передела, малой плотностью, высокой коррозионной стойкостью, при достаточной прочности, пластичности и вязкости нашли широкое применение в авиации, судостроении, автостроении, строительстве и других отраслях народного хозяйства.

### **1.3.1. Деформируемые алюминиевые сплавы.**

Деформируемые сплавы по способности упрочняться термической обработкой подразделяют на сплавы, неупрочняемые термической обработкой, и сплавы, упрочняемые термической обработкой.

**Дуралюмины.** Дуралюминами называют сплавы Al–Сi–Mg в которые дополнительно вводят марганец. Марганец повышает стойкость дуралюмина против коррозии. Дуралюмин, изготавливаемый в листах, для защиты от коррозии подвергают плакированию, т. е. покрытию тонким слоем алюминия высокой чистоты (не ниже 99,5 %). Маркировка этих сплавов начинается с буквы Д.

**Авиаль** (сокр. от авиационный алюминий) –сплав (маркировка АВ) на основе алюминия, содержащий 0,45÷0,9% магния, 0,5÷1,2% кремния, 0,2÷0,6% меди, 0,15÷0,35% марганца или хрома. Обладает высокой пластичностью и удовлетворительной коррозионной стойкостью в атм. условиях. Для упрочнения авиаль подвергают закалке и искусственному старению. Применяют для производства сложных по форме прессов, и штампов, деталей (лопастей винтов вертолётов, элементов строительных конструкций и др.).

**Высокопрочные сплавы.** Предел прочности этих сплавов достигает 550÷700 МПа, но при меньшей пластичности, чем у дуралюминов. Представителем высокопрочных алюминиевых сплавов является сплав В95.

По сравнению с дуралюмином эти сплавы обладают большой чувствительностью к концентраторам напряжений и пониженной коррозионной стойкостью под напряжением.

Листы из сплава В95 плакируют сплавом алюминия с 0,9÷1,3% Zn для повышения коррозионной стойкости. Сплав В95 хорошо обрабатывается резанием и сваривается точечной сваркой, его применяют в самолетостроении для нагруженных конструкций (обшивка, стрингеры, шпангоуты, лонжероны; силовые каркасы строительных сооружений и т. д.).

**Сплавы дляковки и штамповки.** Эти сплавы отличаются высокой пластичностью и удовлетворительными литейными свойствами, позволяющими получить качественные слитки.

Сплав АК6 используют для деталей сложной формы и средней прочности, изготовление которых требует высокой пластичности в горячем состоянии (подmotorные рамы, фитинги, крепежные детали, крыльчатки и т. д.). Сплав АК8 рекомендуется для тяжело нагруженных штампованных деталей. Сплав АК8 менее технологичен, чем сплав АК6. Сплавы АК6 и АК8 хорошо обрабатываются резанием и удовлетворительно свариваются контактной и аргонодуговой сваркой. Сплавы склонны к коррозии под напряжением и межкристаллитной коррозии.

**Жаропрочные сплавы.** Их используют для деталей, работающих при температуре до 300°C (поршни, головки цилиндров, крыльчатки, лопатки и диски осевых компрессоров турбореактивных двигателей, обшивка сверхзвуковых самолетов и т.д.). Жаропрочные сплавы дополнительно легируют железом, никелем и титаном.

Высокая жаропрочность сплава Д20 достигается благодаря высокому содержанию меди, а также марганца и титана. Сплавы АК4-1 закаливают при 530С

### **1.3.2. Литейные алюминиевые сплавы**

Сплавы для фасонного литья должны обладать высокой жидкотекучестью, сравнительно небольшой усадкой, малой склонностью к образованию горячих трещин и пористости в сочетании с хорошими механическими свойствами, сопротивлением коррозии.

Чаще применяют сплавы А1-Si, А1-Si, А1-Mg, которые дополнительно легируют небольшим количеством меди, магния, марганца, никеля, хрома.

Сплавы А1-Si (АЛ7, АЛ19) после термической обработки имеют высокие механические свойства при нормальной и повышенной температуре и хорошо обрабатываются резанием. Литейные свойства сплавов низкие (большая усадка, склонность к образованию горячих трещин и т. д.).

Сплавы алюминия с магнием имеют низкие литейные свойства, так как не содержат эвтектики. Особенностью этих сплавов является хорошая коррозионная стойкость, повышенные механические свойства и обрабатываемость резанием.

Сплавы АЛ8 и АЛ27 предназначены для отливок, работающих во влажной атмосфере, например в судостроении и авиации.

Среди жаропрочных сплавов наиболее известен сплав АЛ1, из которого изготавливают поршни, головки цилиндров и другие детали, работающие при температуре до 300°C. Более жаропрочны сплавы АЛ33 и АЛ19. Высокая жаропрочность обусловлена добавками в сплавы Mn, Ti, Ni, Ce, Zr. Для крупногабаритных деталей, работающих при 300-350°C, применяют сплав АЛ21.

**Силумин** (от лат. Silicium—кремний и Aluminium—алюминий)—общее название группы лёгких литейных сплавов на основе алюминия, содержащих кремний (до 23%), а также другие элементы (медь, марганец, магний). Обладает относительно высокими механическими свойствами в сочетании с коррозионной стойкостью во влажной и морской атмосферах. Применяются для изготовления деталей сложной конфигурации в авто-, авиа- и судостроении. Наиболее распространен сплав, содержащий 10÷13 % Si (АЛ2), обладающий высокой коррозионной стойкостью.

### **1.4. Титан и его сплавы**

Титан—металл серого цвета. Температура плавления титана (1668±5)°С. Титан имеет две аллотропические модификации: до 882 °С существует α-титан (плотность 4,505 г/см<sup>3</sup>), который кристаллизуется в гексагональной решетке, а при более высоких температурах — β-титан (при 900°С плотность 4,32 г/см<sup>3</sup>). Технический титан изготавливают двух марок: ВТ 1-00 (99,53 % Ti); ВТ1-0 (99,46 % Ti).

Азот, углерод, кислород и водород увеличивают твердость и прочность титана, но понижают пластичность, ухудшают свариваемость и снижают сопротивление коррозии. Особенно вреден водород, охрупчивающий титан, из-за выделения гидридов. Содержание водорода в сплавах не должно превышать 0,015 %.

На поверхности титана легко образуется стойкая оксидная пленка, повышающая сопротивление коррозии в морской воде, в некоторых кислотах и других агрессивных средах. Титан устойчив к кавитационной коррозии под напряжением.

Технический титан обрабатывается давлением, сваривается дуговой сваркой в атмосфере защитных газов и контактной сваркой, но плохо обрабатывается резанием. Титан поставляют в виде листов, труб, прутков, проволоки и других полуфабрикатов.

Сплавы на основе титана получили значительно большее применение, чем технический титан. Легирование титана Fe, Al, Mn, Cr, Sn, V, Si повышает его прочность, но одновременно снижает пластичность и вязкость.

Титановые сплавы маркируют буквами ВТ (ВТ-4, ВТ-6, ВТ-9, ВТ-18, ИВТ и т.д.). Как правило, все промышленные сплавы титана содержат алюминий.

Области применения титана и его сплавов. Важнейшими областями использования титановых сплавов являются следующие.

I. Авиация и ракетостроение. Из титановых сплавов для самолетов и ракет изготавливают корпуса двигателей, баллоны для газов, сопла, диски, лопатки компрессора, детали крепежа, фюзеляжа.

II. Химическая промышленность (аппараты, трубопроводы, компрессоры, клапаны, вентили для агрессивных жидкостей).

III. Оборудование для обработки ядерного топлива.

IV. Морское и речное судостроение (гребные винты, обшивки морских судов, корпуса подводных лодок).

V. Криогенная техника, так как высокая ударная вязкость Ti-сплавов ( $100\div 160$  Дж/см<sup>2</sup>) сохраняется до температуры жидкого водорода ( $-253$  °C).

### 1.5. Медь и её сплавы

Медь имеет решетку ГЦК с параметром  $3,608$  Å ( $0,3608$  нм); плотность меди  $8,94$  г/см<sup>3</sup>; температура плавления  $1083$  °C. Характерным свойством меди является ее высокая электропроводность ( $\rho = 0,0178$  Ом·см<sup>2</sup>/м), поэтому медь находит широкое применение в электротехнике. Технически чистая медь маркируется: М00 (99,99% Си), М0 (99,95% Си) М2, М3 и М4 (99% Си). Механические свойства меди относительно низки. Поэтому в качестве конструкционного материала медь находит ограниченное применение. Повышение механических свойств достигается созданием разных сплавов на медной основе. Различают две группы медных сплавов: **латуни** — сплавы меди с цинком, **бронзы** — сплавы меди с другими (кроме цинка) элементами.

**Латуни.** Латуни могут иметь в своем составе до 45 % Zn. Повышение количества цинка до 45 % в латуни приводит к повышению прочности ( $\sigma_B$  до 450 МПа). Максимальная пластичность имеет место при содержании цинка около 37%. Латуни маркируются буквой Л, за которой следует число, показывающее содержание меди в процентах; например, в сплаве Л62 имеется 62 % Си и 38 % Zn. Если в сплаве имеются другие элементы, то для обозначения их после буквы Л ставятся буквы, являющиеся начальной буквой названия элементов (О—олово, С—свинец, Ж—железо, Ф—фосфор, Ц—цинк, Мц—марганец). Количество этих элементов обозначается соответствующими цифрами после числа, показывающего количество меди в латуни; например, сплав ЛАЖ60-1-1 содержит 60 % Си, 1 % Al, 1 % Fe, 38 % Zn.

Обрабатываемость резанием латуней улучшается присадкой в состав латуни небольшого количества свинца, например, латунь марки ЛС59-1, которую называют «автоматной латунью». Латуни имеют хорошую коррозионную стойкость. Это свойство дополнительно повышается присадкой небольшого количества олова. Латунь ЛО70-1 стойка против коррозии в морской воде и называется «морской латунью». Из латуни можно изготавливать также детали методом литья. Наилучшей жидкотекучестью обладает литейная латунь марки ЛК80-3Л, несколько хуже литейные свойства латуней типа ЛА, ЛАЖ, ЛАЖМц. При кристаллизации имеют значительную ( $1,5\div 2\%$ ) сосредоточенную усадку. Поэтому латунные отливки могут быть получены с высокой плотностью. Латуни являются хорошим материалом для конструкций, работающих при отрицательных температурах.

**Сплавы меди с оловом** (оловянные бронзы). Оловянные бронзы являются типичным антифрикционным материалом. Оловянные бронзы имеют очень низкую объемную усадку (около 0,8%) и с успехом используются при художественном литье. Хорошую жидкотекучесть обеспечивает наличие фосфора в составе бронз.

Бронзы маркируются по следующему принципу: на первом месте ставятся буквы Бр, затем буквы, показывающие, какие компоненты помимо меди входят в состав сплава (так же, как в латунях). После букв идут цифры, показывающие количество соответствующих компонентов в

сплаве. Например, марка БрОФ10-1 означает, что в бронзу входит 10 % олова и 1% фосфора, остальное—медь. Оловянные бронзы подразделяются на деформируемые и литейные. В деформируемых бронзах, чтобы иметь необходимую пластичность, содержание олова не должно превышать 6 %. Из этих сплавов изготавливают прутки, трубы, ленту, проволоку. В зависимости от состава деформируемые бронзы отличаются высокими механическими, антикоррозионными, антифрикционными и упругими свойствами и используются в различных отраслях промышленности. Литейные бронзы применяются для изготовления пароводяной арматуры и для отливок антифрикционных деталей типа втулок, венцов червячных колес, вкладышей подшипников.

**Алюминиевые бронзы.** Оптимальными свойствами обладают алюминиевые бронзы, содержащие 5÷8 % Al. Увеличение содержания Al до 10÷11 % ведет к резкому повышению прочности и к сильному понижению пластичности. Сплавы дополнительно легируют Mn, Fe, Ni, Pb. Детали из алюминиевых бронз изготавливают литьем и обработкой давлением. Из алюминиевых бронз изготавливают относительно мелкие, но высокоответственные детали типа шестерен, втулок, фланцев.

Из бронзы БрА5 штамповкой изготавливают медали и мелкую разменную монету. Кремнистые бронзы применяют как заменители оловянных бронз (БрК4). Они имеют большую усадку, чем оловянные бронзы, но превосходят последние по коррозионной стойкости и механическим свойствам, имеют высокие упругие свойства.

**Свинцовые бронзы (БрС30)** используют как высококачественный антифрикционный материал. Однако по сравнению с оловянными бронзами они имеют более низкие механические и технологические свойства (ликвация по плотности).

**Бериллиевые бронзы** являются высококачественным пружинным материалом. Растворимость бериллия в меди с понижением температуры от 806 до 300°С понижается от 2,7 до 0,2 %. Это явление используют для получения высоких упругих и прочностных свойств изделий из бериллиевой бронзы методом дисперсионного твердения. Бериллиевые бронзы имеют в составе около 2 % бериллия (БрБ2).

Табл.1.3. Сравнительные характеристики сплавов.

Материал	$\sigma_B$ , МПа	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\sigma_B/\rho$
Легированная сталь	1200	7,85	150
Алюминиевые сплавы	500	2,72	180
Магниевые сплавы	260	1,74	150
Титановые сплавы	1250	4,5	280

## 1.6. СОРТАМЕНТ

Термин «Сортамент» (искажённое франц. *assortiment*, от *assortir* -подбирать, сортировать) применяется в металлургической промышленности преимущественно к металлопрокату, а «сортимент»-в производстве лесоматериалов.

Форму поперечного сечения продукции, получаемой при прокатке, называют *профилем*. Совокупность форм и размеров профилей, получаемых прокаткой, и называют *сортаментом*. Сортамент проката подразделяется на группы: сортовой прокат, листовой, трубы и профили специального назначения (специальный и периодический прокат).

Часто прокат также разделяется на *сортовой и фасонный*.

К **сортовому** относится прокат, у которого касательная к любой точке контура поперечного сечения данное сечение не пересекает (прокат круглый, квадратный, шестигранный, полосовой).

К **фасонному** относится прокат, у которого касательная хотя бы к одной точке контура поперечного сечения данное сечение пересекает (балка, швеллер, уголок и профили специального назначения).

Заготовками для сортового проката являются блюмы (сечением от 150x150 до 450x450 мм), а для листового проката—слябы (толстые плиты толщиной до 350 мм).

**Прокатный профиль (ПП)**, металлическое изделие (различной формы поперечного сечения), полученное прокаткой. Различают ПП с постоянным поперечным сечением по длине, переменные профили и специальные.



К 1-му виду относятся ПП сортовой стали, имеющие простую геометрическую форму (например (рис. 1.), круг, прямоугольник, квадрат, овал, шестиугольник, сегмент), и т. н. фасонные профили, представляющие собой сочетания простых профилей (например, угловые ПП (11, 12), швеллеры (13), тавровые и двутавровые балки (14, 15), зетовое железо (17), полосы для ободьев колёс автомобиля, колосниковых решёток, тракторных шпор и т.п.), листы, трубы (в т. ч. и профильные: квадратные, прямоугольные, ромбические, овальные и специальные), гнутые профили.

Ко 2-му виду относятся, например, т. н. периодические профили, к 3-му — бандажи, колёса (35), шестерни, шары, ребристые трубы и др. изделия.

Прокат (стальная арматура) для армирования железобетонных изделий подразделяется: по технологии изготовления (горячекатаная стержневая и холоднотянутая проволочная), по условиям применения в железобетоне (ненапрягаемая, напрягаемая), по характеру профиля (гладкая, периодического профиля). Стержневая арматура подразделяется на классы: (А-I -гладкая; А-II, А-III, А-IV, А-V, А-VI –периодическая).

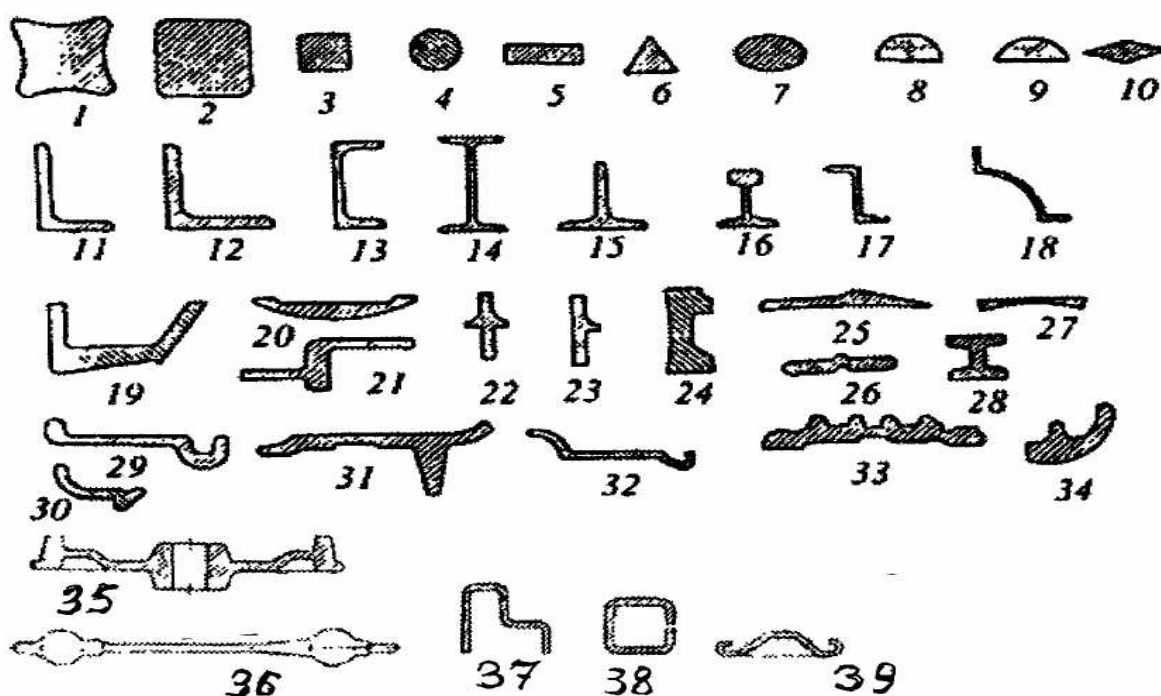


Рис. 1.1. Разновидности профилей проката: 1-10 - простые; 11-17 - фасонные; 18-39- сложные специальные.

Листовой прокат условно подразделяется на толстолистовой (от 4 мм и больше) и тонколистовой (менее 4 мм). Листовую сталь подразделяют на автотракторную, трансформаторную, котельную, кровельное железо, жёсть, листовую сталь со специальными покрытиями, биметаллический лист и т. д.

Трубы разделяют на две группы: бесшовные и сварные. Кроме того, выпускают трубы фасонные и переменного сечения.

К специальным видам проката относятся вагонные колёса (35,36), зубчатые колёса, шары, периодический прокат, а также гнутый профиль.

### 1.7. ОГНЕУПОРЫ

**Огнеупоры-** материалы и изделия, изготавливаемые главным образом на основе минерального сырья, обладающие огнеупорностью (способностью противостоять, не расплавляясь, действию высокой температуры не ниже 1580°C (по стандартам ряда стран—не ниже 1500 °C). Применяются для кладки промышленных печей, топок, аппаратов и др. тепловых агрегатов.

Технический прогресс разных отраслей промышленности (черной и цветной металлургии, электроэнергетики, химической, газовой, нефтеперерабатывающей) нередко связан с высокой температурой отдельных производственных процессов. Это вызывает необходимость применения

огнеупоров. При повышении стойкости огнеупоров и теплоизоляционных материалов, при увеличении продолжительности их службы сокращается общее время простоя тепловых агрегатов из-за ремонта огнеупорной футеровки или тепловой изоляции и повышается их производительность. Огнеупорные материалы могут служить в различных температурных условиях и разнообразных средах. Одни огнеупорные материалы контактируют с разного рода расплавами (стекольными, шлаковыми, расплавами металлов и т. п.) и подвергаются при этом как физической, так и химической коррозии. Поэтому основными требованиями к таким огнеупорам являются их высокая плотность и прочность, определенный химический состав. Другие огнеупорные материалы используют лишь в газовой среде, где менее агрессивные условия. Третьи предназначены для службы в условиях многократного попеременного нагревания и охлаждения, поэтому должны обладать высокой термической стойкостью. Всему многообразию требований одновременно не отвечает ни один современный огнеупорный материал. Этим и объясняется большое количество видов огнеупоров, применяющихся в промышленности.

### 1.7.1 КЛАССИФИКАЦИЯ ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

По химическим свойствам различают кислые, нейтральные, основные огнеупоры.

Огнеупорные изделия в зависимости от степени огнеупорности подразделяются на три класса:

- 1) огнеупорные (от 1580 до 1770<sup>0</sup>С);
- 2) высокоогнеупорные—(от 1770 до 2000<sup>0</sup>С);
- 3) высшей огнеупорности—(выше 2000<sup>0</sup>С).

В зависимости от физико-химических свойств исходного сырья огнеупорные изделия делятся на 8 основных групп, которые, в свою очередь подразделяются на 18 типов (табл. 1.4).

Различие их состоит главным образом в природе используемого сырья. Таблица 1.4 - Классификация огнеупоров.

Группа огнеупоров		I. Кремнеземистые		II.Алюмосиликатные			III. Магнезиальные			
		А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И
Тип		Динасовые	Кварцевые	Полукислые	Шамотные	Высокоглинистые	Периклазовые	Доломитовые	Форстеритовые	Шпинельные
<i>IV. Хромистые</i>		V.Углеродистые		VI.Цирконистые		VII. Окисные		VII. Карбонидные, нитридные		
К	Л	М	Н	О	П	Р		С		Т
Хромистые	Хромамагнезитовые	Графитовые	Коксовые	Цирконовые	Циркониевые	Окисные специальные		Карборундовые		Прочие

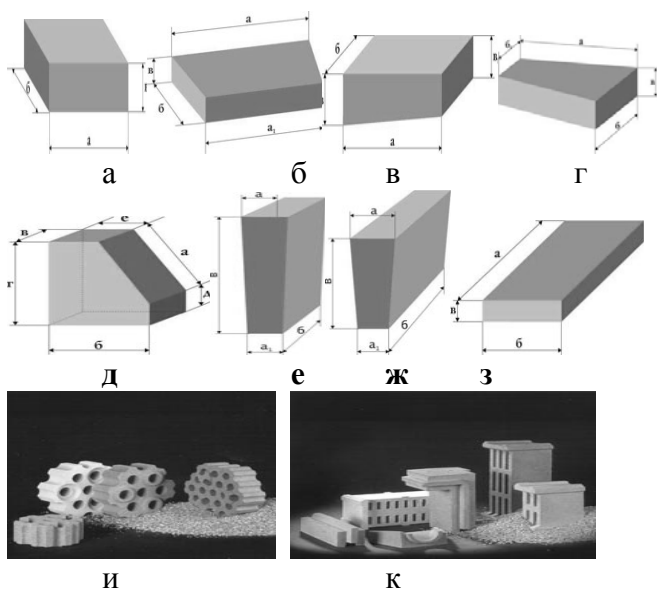


Рис.1.2. а) кирпич прямой, б) клин трапецеидальный, в) клин торцовый, г) кирпич трапецеидальный, д) кирпич пятовый, е) клин торцовый двухсторонний, ж) клин ребровой двухсторонний, з) плита, и) кирпич насадочный, к) кирпич фасонный.

По форме и размерам все виды огнеупорных изделий подразделяются:

- нормальный кирпич (большого и малого формата);
- прямой и «клиновой» кирпич (продольный и поперечный клин);
- фасонные изделия (простые, сложные, особо сложные);
- крупноблочные изделия.

К отдельной разновидности следует отнести огнеупорный бетон, являющимся безобжиговым

огнеупором.

По степени пористости (плотности) огнеупорные изделия делятся: на особоплотные с пористостью менее 3%; на высокоплотные с пористостью 3÷10%; на плотные с пористостью 10—20%; на обычные с пористостью 20÷30%. Особую группу составляют легковесные и термоизоляционные огнеупоры с пористостью 46÷85%.

По способу изготовления огнеупорные изделия подразделяются:

- пиленные из естественных горных пород;
- литые из жидкого шликера или расплава;
- полученные пластичным или полусухим формованием или трамбованием из порошкообразных непластичных масс.

По характеру термической обработки огнеупорные изделия бывают:

- безобжиговые;
- обожженные;
- отлитые из расплава.

### 1.7.2 Свойства огнеупоров

Температура нагрева в современных печах и топках колеблется в пределах 1000÷1800°C и выше. К огнеупорам предъявляется комплекс требований:

- огнеупорные материалы прежде всего должны выдерживать воздействие высоких температур, не расплавляясь;
- способность противостоять действию рабочей нагрузки при определенных температурах в течение длительного времени;
- малые коэффициенты объемного расширения или сжатия;
- химическая стойкость.

Огнеупорная футеровка промышленных печей и топок подвержена химическому воздействию продуктов сгорания топлива, расплавов материалов, которые плавятся или обжигаются в печах. Степень разрушения огнеупорных материалов от этих воздействий зависит от химического состава среды, температуры процесса, а также от химического состава, и пористости самого огнеупора. Пока нет еще огнеупорных материалов, сочетающих в равной мере все эксплуатационные качества, необходимые для надежной службы в любых условиях. Каждый вид огнеупорного материала характеризуется присущими лишь ему свойствами, на основании которых определяется рациональная область его применения. Так, например большая строительная прочность динаса, сохраняющаяся и при высоких температурах, делает его особенно пригодным для кладки сводов мартеновских печей, работающих при температурах до 1700°C. Однако неудовлетворительная термическая стойкость в определенном температурном интервале, недостаточно высокие

огнеупорность и устойчивость динаса против действия шлаковых расплавов сильно сокращают продолжительность его службы в печах. В то же время высокоогнеупорный и шлакоустойчивый магнезитовый кирпич из-за недостаточно строительной прочности при высоких температурах и низкой термической стойкости не может быть использован в своде мартеновской печи. Таким образом, чтобы правильно выбрать и эффективно использовать огнеупорный материал, нужно знать не только его основные свойства, но и условия эксплуатации.

Свойства огнеупоров условно можно разбить на три группы:

- теплофизические и термические (огнеупорность, температура начала деформаций под нагрузкой, температурные коэффициенты линейного расширения, теплопроводность, термическая стойкость, теплоемкость, постоянство форм размеров при высоких температурах);
- физико-технические (плотность, механическая прочность, пористость, электропроводность, водопоглощение, газопроницаемость);
- физико-химические (шлакоустойчивость, кислотность).

**Огнеупорность.** Огнеупорностью называют свойство материала противостоять, не расплавляясь, воздействию высоких температур. Огнеупорность материала характеризуют той температурой, при которой изготовленный образец (пирамида), деформируясь при нагревании верхним концом коснется подставки, на которой он установлен.

**Постоянство объема при высоких температурах.** При длительном воздействии на огнеупоры высоких температур в процессе их службы в них продолжают начавшиеся во время обжига (т. е. при их производстве) физико-химические процессы, в результате которых происходит необратимое изменение объема огнеупорных изделий, называемое в зависимости от уменьшения или увеличения его дополнительной усадкой или ростом. Как усадка, так и рост огнеупорных изделий снижают прочность кладки тепловой установки. При воздействии высоких температур большая часть огнеупорных материалов уменьшается в объеме. Некоторые—динас, корунд с добавкой извести и другие, напротив, увеличиваются в объеме. Изменение объема огнеупорного материала в процессе его службы является весьма нежелательным, так как оно может привести к разрушению кладки тепловой установки. При разогреве и охлаждении тепловых установок в процессе их эксплуатации огнеупорная кладка нагревается неравномерно, и огнеупорный материал растрескивается из-за его недостаточной термической стойкости. Это обстоятельство является одним из наиболее важных факторов, определяющих срок службы тепловых агрегатов.

**Деформация под нагрузкой при высоких температурах.** Этим показателем определяется способность материала противостоять одновременно воздействиям высоких температур и сжимающей нагрузки. Для этого образцы цилиндрической формы высотой 50 и диаметром 36 мм высверливают из изделия, помещают в высокотемпературную печь, прикладывают нагрузку  $2 \text{ кгс/см}^2$  ( $0,02 \text{ кН/см}^2$ ) и нагревают с заданной скоростью до температуры, соответствующей началу размягчения (НР). Испытание прекращают, когда образец оказывается сжатым до 40% его первоначальной высоты.

### 1.7.3. РАСПРОСТРАНЕННЫЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ ОГНЕУПОРЫ.

Шамотные изделия являются самым распространенным видом огнеупорных материалов—свыше 70% выпускаемых в СНГ огнеупоров. Содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в шамотных изделиях находится в пределах от 28 до 45%.

Шамотные изделия вследствие их большой, сравнительно со многими другими огнеупорами, термической стойкости, достаточно высокой огнеупорности и шлакоустойчивости, широко применяют для кладки многих промышленных тепловых агрегатов. В производстве чугуна шамотные и полукислые огнеупоры используют для футеровки доменных печей, воздухонагревателей и чугуновозных ковшей, для кладки некоторых элементов мартеновских печей; стекловаренных печей. В процессе эксплуатации шамотные и полукислые огнеупоры изнашиваются без скалывания, равномерно оплаваясь, растворяясь и корродируя.

К кремнеземистым огнеупорным материалам относятся динас и кварцевое стекло. Динас—огнеупорный материал, содержащий не менее 93% кремнезема, изготовленный из кварцевых пород на известковой или иной связке обжигом при высоких температурах. Огнеупорность 1680–1730 °С. Разработана технология получения некоторых разновидностей динаса: динасокарборунда,

динасохромида, динасового легковеса. Область применения динаса: для кладки мартеновских, коксовых, стекловаренных печей и электросталеплавильных печей.

Карборундовые огнеупорные изделия изготавливают из карбида кремния SiC (карборунда). Его получают только искусственным путем: высокотемпературной обработкой (при 2000—2200°C) смеси кремнезема и углеродистого материала. Карборунд не плавится, а при нормальном атмосферном давлении и температуре 2050°C начинает диссоциировать. Полная диссоциация происходит при температуре 2400—2500°C. При 2700—2800°C начинается процесс испарения. В окислительной среде при высокой температуре SiC окисляется, что является существенным недостатком, ограничивающим применение его как огнеупорного материала. Карборундовые огнеупоры на алюмосиликатной глинистой связке по сравнению с другими карборундовыми изделиями изготавливают в большем количестве. Благодаря своим специфическим свойствам карборундовые огнеупоры находят широкое применение в различных областях техники: в черной и цветной металлургии, в химической и керамической промышленности и в других областях. Наиболее целесообразно применение карборундовых огнеупоров для нужд черной металлургии: для устройства высокотемпературных рекуператоров, изготовления пробок и стаканов для непрерывной разливки стали. Карборундовые изделия выгодно использовать в тех случаях, когда требуется их высокая теплопроводность, термостойкость и шлакоустойчивость. Кроме того, карборундовые изделия применяют в устройствах, в которых к материалам предъявляются требования по сопротивляемости механическим воздействиям, например при использовании их в циклонах и пылесборниках. В восстановительных и нейтральных средах карборундовые изделия устойчивы при температурах до 2000°C. В химической промышленности из карборундовых огнеупоров изготавливают сопла для распыления водного раствора SO<sub>2</sub>, сливные блоки травильных ванн, детали насосов для перекачки кислых шлаков и т. д. Карборундовые огнеупоры незаменимы в качестве футеровки котлов с жидким шлакоудалением (например, котлов ТЭЦ) при вихревом движении газов со скоростью 100 м/с, нагретых до 1600-1800°C. Высокая твердость SiC обуславливает широкое применение его в качестве абразивного материала.

### **1.8. Прокладочные и уплотнительные материалы.**

Весьма ответственным участком материальных коммуникаций многих производств являются разъемные соединения труб. Количество их должно быть возможно меньшим, так как наибольшую плотность и безопасность обеспечивают сварные соединения. Однако, в ряде случаев необходимо применение именно разъемных соединений: в местах всех разветвлений, установки арматуры и через определенные промежутки при большой длине прямых участков трубопроводов. Это объясняется тем, что в промышленности часто используются вещества, способные разрушать или загрязнять трубопроводы, которые вследствие этого приходится часто разбирать, а ремонт и чистка слишком длинных прямых участков очень затруднительны. Размеры сварных участков должны быть такими, чтобы обеспечить возможность разборки трубопровода и удаления его из цеха по частям без длительной остановки производства.

Для герметизации швов в строительных конструкциях применяют эластичные уплотняющие прокладки сплошного и полого сечения. Внутри полой прокладки можно создать вакуум; такую прокладку устанавливают в шов, конец ее обрезают, и воздух, заполняя полость прокладки, плотно прижимает ее стенки к кромкам панели, что обеспечивает хорошую герметизацию шва. Кромки панелей в местах укладки герметика должны быть очищены от раствора и загрязнения, нужно проверить степень обжатия упругих прокладок (гернит, пороизол и т.п.) в швах по всей длине прокладок, а также плотность приклеивания прокладок к бетонным кромкам панелей.

Для придания плотности и герметичности соединениям деталей машин (трубы, различные соединения и др.) и устранения возможного просачивания жидкости и прорыва газов используют прокладочные и уплотнительные материалы.

По назначению прокладочные материалы различают:

- подвижного контакта, обеспечивающие герметичность между подвижными и неподвижными деталями (сальники, манжеты и т. д.);
- неподвижного контакта (фланцы, бобышки, люки, смотровые окна и т.д.);
- бесконтактные (лабиринтное уплотнение).

Прокладки по виду материала делятся на *металлические и неметаллические*. Обычно толщина прокладок колеблется в пределах от 2 до 3 мм.

Наибольшее распространение получили следующие прокладочные и изоляционные материалы.

*Асбест* — естественный волокнистый светло-серый минерал, состоящий из кремнезема и небольших количеств окиси железа и окиси кальция. Для него характерны высокая огнестойкость, а также малая тепло- и электропроводность, выдерживает рабочую температуру до 500°С. Из асбеста делают волокно, нити, шнуры, ткани с примесью хлопка и чисто асбестовые ткани, листовые и прокладочные асбестовые материалы, асбестовую бумагу, картон. В сильно агрессивных средах при высоких температурах и давлениях применяются асбометаллические прокладки различных конструкций. Асбометаллические прокладки, изготавливают из двух наложенных друг на друга металлических колец с рифленой (волнистой) по концентрическим кругам поверхностью. Наружные края обоих колец плотно соединены друг с другом, а внутренние края свободны. С этой стороны в промежутки между кольцами закладывается асбестовый шнур, после чего прокладка готова к употреблению.

*Бумага*—листовой материал, изготовленный из растительных волокон и целлюлозы. Целлюлоза — растительные волокна, очищенные от смол и других компонентов.

*Войлок* — листовой пористый материал, изготовленный из волокон шерсти. Воздушные поры в нем составляют не менее 75% объема. Он обладает высокими тепло- и звукоизолирующими, а также амортизирующими свойствами. Войлок используют для набивки сальниковых уплотнений и изготовления прокладок.

*Картон*—специально обработанная толстая бумага толщиной 0,25—3 мм. В зависимости от способа обработки он приобретает масло- и бензостойкость, электро- и термоизоляционность. Прокладки из картона, пропитанного олифой, пригодны для уплотнения разъемных соединений трубопроводов и аппаратов, в которых перемещаются или обрабатываются различные органические продукты при температурах не выше 30° С.

*Металлы*. Для уплотнения соединений, работающих при высоких давлениях, используются металлические кольца из углеродистых и легированных сталей различных марок, меди, латуни, алюминия, свинца — в зависимости от коррозионных свойств среды, температуры и давления. Широко распространены стальные линзовые прокладки, представляющие собой стальные кольца, поверхность которых обработана по сфере таким образом, что в разрезе прокладка имеет вид линзы. Отшлифованная прокладка зажимается между обработанными на конус торцами соединяемых деталей, например труб.

*Папля*— волокнистые отходы первичной обработки льна, пеньки и др. лубяных культур, непригодные для выработки пряжи. П. применяется в качестве прокладочного, изоляционного, набивочного и др. материала.

*Паронит* — листовой материал из асбеста, каучука и наполнителей. Применяют для уплотнения водяных и паровых магистралей (при давлении до 5,0 МПа и при температуре до 450<sup>0</sup>С), а также для уплотнения трубопроводов и арматуры для нефтепродуктов: бензина, керосина, масла. термостойкостью до 374° С. Материал обладает хорошей коррозионной стойкостью, которую можно еще более повысить, пропитав прокладку специальными составами. Поэтому парониты применяются в химической промышленности для всех рабочих сред за исключением сильно окислительных. Прокладки из этих материалов перед установкой на место необходимо распаривать в горячей воде.

*Пенька*— грубое лубяное волокно, получаемое из стеблей однолетнего травянистого растения—конопли. Кручёные изделия из нее—шпагаты, верёвки, используются как прокладочный материал.

*Пластмассы*. Прокладки из пластических масс используются для уплотнения соединений трубопроводов и аппаратов в ряде специальных случаев. Так, листовая поливинилхлорид отлично служит в кислых и щелочных средах при температурах до 60° С. Текстолит пригоден для работы при невысоких температурах в разных средах, в том числе масляных и слабокислых; он отличается высокой механической прочностью и легко обрабатывается резанием. Превосходными прокладочными материалами являются полиэтилен, полипропилен и особенно политетрафторэтилен.

Для уплотнения фланцевых соединений газопроводов используются полимерные мастичный жгуты.

Например, жгут ПМЖ-1 изготавливают из высокополимерного полиизобутилена, нефтяного щелочного битума (рубракса), нейтрального масла, парафина, мела и асбеста VII сорта.

*Резина.* В связи с созданием и промышленным выпуском разнообразных синтетических каучуков, обладающих специальными свойствами, применение резиновых прокладок значительно расширилось. Такие прокладки, изготовленные из маслостойких, химически стойких и теплостойких каучуков, могут использоваться для самых разнообразных агрессивных сред при температурах до 300° С. Находит применение прокладочный материал, изготавливаемый на основе хлоропренового каучука с добавкой этинолевого лака и наполнителей (асбеста и др.), дивинис, обладающий повышенной стойкостью к дивинилу и другим углеводородам.

Хорошим уплотняющим материалом является резина с тканевыми прослойками. Однако прокладки из нее набухают почти во всех органических средах, что очень ограничивает их применение. Обычно они устанавливаются при рабочих температурах не выше 80° С на трубопроводах для воздуха, азота, растворов щелочей, водных растворов органических соединений (например, спиртов) и т. п.

Для уплотнения фланцевых соединений газопроводов рекомендуется применять прокладки из микропористой и губчатой резины в виде ленты шириной 12—25 мм (в зависимости от ширины полки фланца). Эти прокладки наклеивают на фланцы воздухопроводов клеем.

*Фибра*—разновидность бумажного материала, изготавливают ее из бумаги, пропитанной раствором хлористого цинка. Отличается высокой прочностью и хорошо поддается механической обработке, масло- и бензостойка. Недостаток фибры—значительная гигроскопичность (влагопоглощаемость), причем при увлажнении она деформируется. Прокладки из фибры хорошо уплотняют соединения трубопроводов и аппаратов, работающих при высоких давлениях и нормальных температурах.

### **1.9. ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

Тепловая изоляция (теплоизоляция, термоизоляция)—защита зданий, тепловых промышленных установок, холодильных камер, трубопроводов, газопроводов и т. п. от нежелательного теплового обмена с окружающей средой или для обеспечения норм техники безопасности. Тепловая изоляция обеспечивается устройством специальных ограждений из теплоизоляционных материалов. Применение теплоизоляционных материалов в строительстве позволяет снизить массу конструкций, уменьшить потребление конструктивных строительных материалов (бетон, кирпич, древесина и др.). Теплоизоляционные материалы существенно улучшают комфорт в жилых помещениях. Важнейшей целью теплоизоляции строительных конструкций является сокращение расхода энергии на отопление здания.

В технической литературе часто можно встретить деление теплоизоляционных материалов на изоляционно-строительные и изоляционно-монтажные. Изоляционно-строительные материалы применяют для утепления ограждающих конструкций зданий, а изоляционно-монтажные—для тепловой и холодильной изоляции различного технологического оборудования и трубопроводов. Однако такое деление условно. Практически подавляющее большинство материалов может быть использовано как в той, так и в другой области.

Теплоизоляционными называют материалы, имеющие теплопроводность не более 0,175 Вт/(м<sup>2</sup>\*С) при 20°С. Применение таких материалов в конструкциях позволяет весьма существенно экономить тепловую энергию. Считается, что 1 м<sup>3</sup> эффективных теплоизоляционных материалов экономит 1,45 тн условного топлива.

Применение теплоизоляционных материалов в строительстве позволяет снизить массу строительных конструкций, уменьшить потребление конструктивных строительных материалов (бетон, кирпич, древесина и др.). Теплоизоляционные материалы существенно улучшают комфорт в жилых помещениях. Важнейшей целью теплоизоляции строительных конструкций является сокращение расхода энергии на отопление здания.

Тепловые агрегаты, аппараты и коммуникации при их изоляции сокращают потери на 20-30%. Изоляция холодильных установок еще более значима, т.к. стоимость получения единицы холода примерно в 20 раз дороже соответствующей единицы тепла. Только высокоэффективные материалы ( $\rho=200 \text{ кг/м}^3$ ,  $\lambda=0,06 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$ ) способны в течение 5÷15 лет сэкономить энергозатраты на их

производство и в дальнейшем приносить чистую прибыль. Пустотелый кирпич окупит энергию на его производство через 50 лет (а кирпичная кладка при термическом сопротивлении  $3,5 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ —через 250-300 лет). Особенно важно теплосбережение в северных широтах.

В зависимости от размеров изолируемой поверхности, её конфигурации и вида теплоизоляционного материала устройство теплоизоляционного ограждения производится с применением крупных изделий заводского изготовления (плиты, блоки, сегменты), мягких рулонных

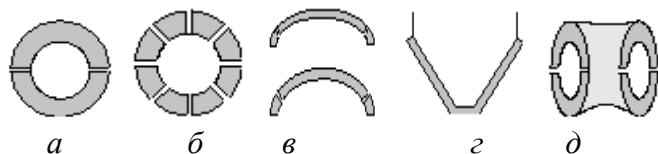


Рис. 1.3. Формы теплоизоляционных материалов: а- скорлупы для прямых участков труб; б- сегменты для прямых участков труб; в- сегменты для днищ резервуаров; г- конические сегменты для днищ; д - скорлупы для колена.

материалов (маты, шнуры), мелкоштучных изделий (кирпич), засыпкой, обмазкой, набрызгом, напылением или заливкой.

Теплоизоляционные материалы и изделия классифицируются по виду *основного исходного сырья* (неорганическое, органическое); *структуре* (волокнистая, ячеистая, зернистая, сыпучие); *форме* -рыхлые (вата, перлит), плоские (плиты, маты,

войлок), фасонные (цилиндры, полуцилиндры, сегменты и др.), шнуровые (шнуры, жгуты); *содержанию связующего вещества* (содержащие и не содержащие); *возгораемости* (горючести) - несгораемые, трудносгораемые, сгораемые, по объемной массе: особо легкие ОЛ,  $\rho_k$  от 15 до 100  $\text{кг/м}^3$ ; легкие ЛС,  $\rho_k$  от 125 до 350  $\text{кг/м}^3$ ; тяжелые Т,  $\rho_k$  от 400 до 600  $\text{кг/м}^3$ , по сжимаемости: мягкие (М), деформация свыше 30%; полужесткие (ПЖ), деформация 6—30%; жесткие (Ж), деформация не более 6%.

Для высокотемпературной теплоизоляции промышленных печей, котлов, теплообменников и т. п. применяются так называемые монтажные теплоизоляционные материалы на основе асбеста (вулканит, совелит), вспученных горных пород (вермикулит, перлит) и керамики.

Теплоизоляционные конструкции следует предусматривать из следующих элементов:

- теплоизоляционные слои;
- армирующих и крепежных деталей;
- пароизоляционного слоя;
- кровного слоя.

Защитное покрытие изолируемой поверхности от коррозии не входит в состав теплоизоляционной конструкции.

При проектировании и монтаже теплоизоляционных конструкций следует руководствоваться СНИП.

Все расчеты по изоляции оборудования и трубопроводов (газопроводов) делятся на следующие группы:

- Расчеты тепловой изоляции горячих поверхностей;
- Расчеты тепловой изоляции поверхностей с отрицательными температурами;
- Расчеты тепловой изоляции коммуникаций подземной прокладки.

Чаще всего на практике приходится сталкиваться с различными вариантами расчетов по изоляции горячих поверхностей:

- Определение потерь тепла в окружающий воздух;
- Определение толщины изоляционного слоя по заданной потере тепла;
- Определение толщины изоляционного слоя по заданной температуре на поверхности изоляции;
- Определение толщины изоляционного слоя по заданному падению температуры, протекающей жидкости;
- Определение толщины изоляционного слоя по заданному падению температуры, транспортируемого газа;



- Определение толщины изоляции трубопроводов для предотвращения замерзания содержащихся в них жидкости при аварийных остановках.

**Теплоизоляция промышленного оборудования и трубопроводов.** Изоляционные конструкции из жестких изделий - плит, скорлуп, сегментов могут выполняться из одного материала или из двух разных материалов, укладываемых послойно. В верхнем слое могут применяться менее температуростойкие материалы. Производят двухслойные изделия, сочетающие огнеупорный и теплоизоляционный слой.

**Оберточные изоляционные конструкции** применяют в тех случаях, когда трубы подвержены вибрации или частым сотрясениям. Используют асбестовую бумагу и картон, различные виды шнура (асбестовый, стекловатный, минераловатный) и жгуты.

**Мастичные конструкции** выполняют путем нанесения на изолируемую поверхность теплоизоляционного материала в пластичном состоянии в виде мастики. Мастику готовят на месте работ путем затворения порошкообразного материала водой до рабочей густоты, наносят послойно вручную. Поэтому работы по мастичной изоляции трудоемки и продолжаются в 2-4 раза дольше монтажа изоляции из готовых изделий.

Сегодня уже технически устарели различные виды теплоизоляции труб теплоцентралей (минеральной ватой, армопенобетоном и др.), так как они имеют скорость коррозии труб в 20-40 раз большую, чем у труб, изолированных пенополиуретаном. Долговечность последних имеет не менее 30 лет.

### 1.9.1. Характеристики теплоизоляционных материалов

Процесс переноса теплоты через строительные материалы под действием градиентов температуры называется теплопроводностью  $\lambda$ , Вт/(м°C):

$$\lambda = \delta/R$$

где  $\delta$  - толщина материала, м; R-термическое сопротивление, м<sup>2</sup>С/Вт, определено через  $\lambda$ .

**Теплопроводность** связана с коэффициентом температуропроводности  $a$ , теплоемкостью  $C$  и плотностью материала  $\rho$

$$\lambda = a C \rho$$

Числовые значения коэффициента температуропроводности  $a$  и теплоемкости  $C$  для материалов строительных конструкций можно условно считать постоянными. Отсюда следует, что  $\lambda=f(\rho)$ . Эта зависимость значительно упрощает маркировку теплоизоляционных материалов, которую можно проводить по их плотности с достаточной для практики точностью. Марки теплоизоляционных материалов (кг/м<sup>3</sup>): D15, D25, D35, D50, D100, D125, D150, D175, D200, D250, D300, D350, D400, D500.

Тепловой поток через пористые многокомпонентные строительные материалы представляет собой сумму кондукционного  $\lambda_T$ , конвекционного  $\lambda_K$  и радиационного  $\lambda_R$  потоков. Для описания процессов теплопереноса через строительные материалы нельзя использовать термин теплопроводность, относящийся только к кондукционному переносу тепла. Зависимость  $\lambda_{\Sigma} = \lambda_T + \lambda_K + \lambda_R$  характеризует составные части или компоненты эффективной (общей) теплопроводности.

Целесообразно для комплексного ресурсосбережения изготавливать теплоизоляционные изделия с технологическими пустотами, в которых создаются воздушные прослойки. Чем тоньше прослойки воздуха и чем их больше, тем меньше теплопроводность изделия.

Стремление к *замкнутой* пористости отличает структуру теплоизоляционных материалов от структуры звукопоглощающих, которые должны иметь определенное количество "сквозных" пор. Это принципиальное отличие необходимо иметь в виду, так как часто для производства теплоизоляционных и звукопоглощающих изделий используются одни и те же исходные материалы.

Известно, что теплопроводность материала является функцией тепло-проводности скелета материала  $\lambda_{СК}$ , теплопроводности воздушной среды  $\lambda_B$  и влаги  $\lambda_W$ , находящейся в поровом пространстве. Существенно понизить теплопроводность скелета можно путем использования материала аморфного строения, так как оно значительно хуже проводит тепловой поток, чем материал кристаллического строения.

Минимальную теплопроводность имеет сухой воздух, заключенный в мелких замкнутых порах, в которых практически не возможен конвективный теплообмен. В этом случае теплопроводность

воздуха минимальна и составляет 0,023 Вт/(м°С). Следовательно, структура теплоизоляционного материала и изделия должна иметь скелет аморфного строения предельно насыщенный мелкими замкнутыми порами или тонкими воздушными слоями.

Для теплопроводности имеет огромное значение *влажность материала* и его адсорбционная емкость, так как теплопроводность воды  $\lambda_w = 0,58$  Вт/(м°С), что в 25 раз выше, чем теплопроводность воздуха, содержащегося в мелких замкнутых порах материала.

В случае замерзания воды в порах теплопроводность льда составит 2,32 Вт/(м°С), что на два порядка выше значения теплопроводности сухого воздуха и в 4 раза больше теплопроводности воды.

Принято защищать теплоизоляционные материалы и изделия от увлажнения. Материал, прикрепленный к изоляционному материалу в изделии и закрывающий его поверхность с одной, двух или всех сторон, называется *покровным*.

Теплопроводность  $\lambda_t$ , при повышенной температуре материала можно вычислить по формулам, приводимых в справочниках. У некоторых материалов (магнезиальных огнеупоров, металлов) теплопроводность уменьшается при повышении температуры и, следовательно, температурная поправка имеет отрицательный знак.

Для теплоизоляционных материалов имеется ряд специфических показателей.

**Плотность**—отношение массы сухого материала к его объему, определенному при заданной нагрузке (кг/м<sup>3</sup>).

**Прочность**. Прочность на сжатие—это величина напряжения, вызывающего изменение толщины изделия на 10%. Прочность теплоизоляционных материалов при сжатии сравнительно невелика—0,2-2,5 МПа. Основной прочностной характеристикой волокнистых материалов (плит, скорлуп, сегментов) является предел прочности при изгибе. У неорганических материалов он составляет 0,15-0,5 МПа; у древесных плит—0,4-2 МПа. Гибкие теплоизоляционные материалы (минераловатные маты, войлок, асбестовый картон) испытывают на растяжение. Прочность материала должна быть такова, чтобы обеспечивалась его сохранность при перевозке, складировании, монтаже и, конечно, в эксплуатационных условиях.

**Сжимаемость**—способность материала изменять толщину под действием заданного давления. Материалы по сжимаемости делятся на: мягкие М—деформация свыше 30%; полужесткие ПЖ—деформация 6-30%; жесткие Ж—деформация не более 6%. Сжимаемость характеризуется относительной деформацией материала под действием нагрузки 2 КПа.

**Водопоглощение**—способность материала впитывать и удерживать в порах (пустотах) влагу при непосредственном контакте с водой. Водопоглощение теплоизоляционных материалов характеризуется количеством воды, которое впитывает сухой материал при выдерживании в воде, отнесенным к массе или объему сухого материала. Для снижения водопоглощения ведущие производители теплоизоляционных материалов вводят в них гидрофобизирующие добавки.

**Сорбционная влажность**—равновесная гигроскопическая влажность материала при определенных условиях в течение заданного времени. С повышением влажности теплоизоляционных материалов повышается их теплопроводность.

**Морозостойкость**—способность материала в насыщенном влагой состоянии выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание без признаков разрушения. От этого показателя существенно зависит долговечность всей конструкции.

**Газо- и паропроницаемость**—способность материала обеспечивать диффузионный перенос водяного пара или газа. Диффузия пара характеризуется сопротивлением паропроницаемости (кг/м<sup>2</sup>·ч Па). Теплоизоляция не препятствует воздухообмену жилых помещений с окружающей средой, происходящему через наружные стены зданий. Паропроницаемость теплоизоляции во многом определяет влагоперенос через ограждающую конструкцию в целом. В свою очередь последний является одним из наиболее существенных факторов, влияющих на термическое сопротивление ограждающей конструкции.

Теплоизоляцию стен влажных производственных помещений защищают от увлажнения с помощью надежной гидроизоляции, устраиваемой с "теплой" стороны. Во избежание накопления влаги в многослойной ограждающей конструкции и связанного с этим падения термического

сопротивления паропроницаемость слоёв должна расти в направлении от тёплой стороны ограждения к холодной.

**Воздухопроницаемость.** Теплоизолирующие свойства тем выше, чем ниже воздухопроницаемость теплоизоляции. Мягкие изоляционные материалы настолько хорошо пропускают воздух, что движение воздуха приходится предотвращать путем применения специальной ветрозащиты. Жесткие изделия, в свою очередь, обладают хорошей воздухо непроницаемостью и не нуждаются в каких-либо специальных мерах. Они сами могут применяться в качестве ветрозащиты. При устройстве теплоизоляции наружных стен и других вертикальных конструкций, подвергающихся напору ветра, следует помнить, что при скорости ветра 1 м/с и выше целесообразно оценить необходимость ветрозащиты.

**Огнестойкость**—способность материала выдерживать воздействие высоких температур без воспламенения, нарушения структуры, прочности и других его свойств.

Основными требованиями, предъявляемыми к теплоизоляционным материалам, являются следующие:

- низкий объемный вес, который не должен превышать  $650 \text{ кг/м}^3$  для стационарных и  $250 \text{ кг/м}^3$  для нестационарных установок. Материалы, имеющие низкий объемный вес, как правило, требуют усиленных защитных покровных слоев;

- низкий коэффициент теплопроводности, который не должен превышать для высокоэффективных теплоизоляционных материалов  $0,10 \text{ Вт/м град}$  при средней температуре  $200^\circ\text{C}$  (средняя температура изоляции), для среднеэффективных материалов  $0,17 \text{ Вт/м град}$  при средней температуре  $170^\circ\text{C}$ . Коэффициент теплопроводности материалов, применяемых для теплоизоляции объектов с отрицательными температурами, должен быть не более  $0,63 \text{ Вт/м град}$ ;

- Огнестойкость (температуростойчивость). Материал не должен гореть и поддерживать горение, не должен тлеть после удаления открытого пламени и должен выдерживать температурные пределы его применения. Сгораемые материалы можно применять только при осуществлении мероприятий по защите от возгорания. Возгораемость материалов определяется при воздействии температуры  $800\text{--}850^\circ\text{C}$  и выдержке в течение 20 мин;

- механическая прочность материала, которая в значительной степени определяет долговечность изоляции и надежность ее в эксплуатации,

- низкая водопоглощающая способность материала при погружении в воду и низкая гигроскопичность. Водопоглощение не только ухудшает теплоизоляционные свойства пористого материала, но также понижает его прочность и долговечность. Материалы с закрытыми порами, например, пеностекло, отличаются небольшим водопоглощением. Для снижения водопоглощения при изготовлении материалов вводятся гидрофобизирующие добавки;

- постоянство объема материала, которое определяется малой его способностью самоуплотняться и давать усадку;

- морозостойкость;

- биостойкость. Материал не должен подвергаться гниению, способствовать разведению плесени и насекомых, а также быть съедобным для грызунов;

- химическая стойкость. Большая пористость теплоизоляционных материалов благоприятствует проникновению в них агрессивных газов и паров, находящихся в окружающей среде;

- Материал не должен вызывать или способствовать коррозии металла;

- отсутствие специфического запаха. Материал не должен выделять при эксплуатации и горении ядовитых и вредных газов, кроме окиси углерода и углекислого газа, и должен быть безвредным как при монтаже, так и при эксплуатации;

- воздухо- и газонепроницаемость;

- удобство в монтаже;

- материалы должны изготавливаться промышленностью.

### 1.9.2. Неорганические теплоизоляционные материалы

В зависимости от исходного сырья вата разделяется на: минеральную вату, изготавливаемую из минералов горных пород; шлаковую вату, изготавливаемую из металлургических шлаков, и стеклянную

ную вату, изготавливаемую из стекла.

Минеральная вата имеет ряд недостатков. Она уплотняется от собственного веса и под действием вибрации. Волокна минеральной ваты разрушаются при транспортировке. Кроме того, волокна ваты поражают кожный покров рук при работе с ней и дыхательные пути. При наличии питательной среды для грибов минеральная вата разрушается и превращается в порошок.

**Минеральная и стеклянная вата** представляют собой волокнистый материал, получаемый в результате специальной переработки силикатных расплавов. Сырьем для производства минеральной ваты являются различные горные породы осадочного и магматического происхождения: глинистые, карбонатные, базальтовые, гранитные (мергели, доломиты) и другие, а также отходы промышленности—доменные и мартеновские шлаки, бой глиняного и силикатного кирпича и др. Расплав обычно получают в вагранке. Волокна образуются при воздействии подаваемого под давлением пара или воздуха на непрерывно вытекающую из вагранки струю расплава, либо путем подачи расплава на валки или фильтры, или диск центрифуги.

В производстве стеклянной ваты применяют те же сырьевые материалы, что и в производстве обычного оконного стекла: песок, известняк, соду и др. Стеклянная вата имеет много общего с минеральной. Различие заключается в свойствах готовой продукции. Основной причиной различий является исходное сырье. Минеральную и стеклянную вату применяют для изготовления теплоизоляционных и акустических изделий в виде плит, скорлуп, матов и т. п. Кроме того, их используют при производстве кровельных и стеклопластиковых материалов.

**Минераловатные твердые плиты**, имеющие повышенную жесткость, изготавливают на синтетическом связующем. Существенно важным для свойств изделий является ориентация волокон. Наиболее прогрессивная технология формования твердых минераловатных плит с *вертикальной ориентацией* волокон осуществляется на 10 и 17-этажных прессах.

**Минераловатные изделия с гофрированной структурой**, содержащие до 30% ориентированных в вертикальном направлении волокон, имеют плотность 140-200 кг/м<sup>3</sup>. По сравнению с плитами с горизонтальной ориентацией волокон гофрированные плиты отличаются меньшей деформативностью и повышенной в 1,7-2,5 раза прочностью.

Минераловатные жесткие плиты и фасонные изделия (скорлупы, сегменты) выпускают с синтетическим, битумным и неорганическим связующим (цементом, глиной, жидким стеклом и др.). Плиты толщиной 40-100 мм выпускают плотностью 100-400 кг/м<sup>3</sup> и теплопроводностью 0,051-0,135 Вт/(м·°С).

**Минераловатные полужесткие и мягкие плиты** изготавливают с синтетическим, битумным и крахмальным связующим. Изделия (плиты, цилиндры, сегменты, маты) с синтетическим связующим имеют меньшую плотность, более прочны и привлекательны на вид по сравнению с изделиями на битумном связующем.

**Прошивные маты**—это гибкие изделия из слоя прошитого волокнистого материала. Последнее время используются вертикально-слоистые гибкие маты, состоящие из приклеенных к покровному материалу полос волокнистых плит при преимущественно перпендикулярном расположении волокон. Гибкие изделия, состоящие из слоя волокнистого материала со связующим веществом, называются *войлоком*.

Минераловатные маты в рулонах выпускают следующих видов:

- с синтетическим связующим ( $\rho = 35-75 \text{ кг/м}^3$ ),
- прошивные с металлическими, тканевыми, бумажными обкладками, с обкладкой из стеклохолста ( $\rho = 100-200 \text{ кг/м}^3$ );
- из штапельного стекловолокна ( $\rho = 25-50 \text{ кг/м}^3$ );
- из непрерывного стекловолокна  $\rho = 80-120 \text{ кг/м}^3$ );
- в виде холста из базальтового волокна ( $\rho = 15-20 \text{ кг/м}^3$ ).

**Базальтовое волокно** выдерживает температуру до 1000°С как и основная порода (стекловолокно только 650 и 550°С). Базальтовая вата применяется в виде огнестойких матов, лент и плит, поставляемых в рулонах, обладает стойкостью к коррозии. При плотности 130 кг/м<sup>3</sup> и температуре 0°С вата имеет теплопроводность 0,035 Вт/(м·°С).

**Керамические** теплоизоляционные изделия изготавливают путем формования, сушки и обжига. По сравнению с другими теплоизоляционными материалами они имеют высокую прочность и температуростойкость до 900°C. В качестве сырья используют диатомит, трепел, огнеупорную глину, перлит. Большая пористость создается путем введения в формовочную массу пенообразователей, выгорающих добавок.

**Перлит**—кислая, водосодержащая порода вулканического происхождения со стекловатой структурой. Вспученный перлитовый порошок применяют для термоизоляции установок глубокого охлаждения. Теплопроводность порошка при температуре минус 85°C должна быть не более 0,3 Вт/(м·К). Вспученный перлит, как правило, используют в виде основного компонента в производстве перлитосодержащих теплоизоляционных материалов. Из вспученного перлита могут быть изготовлены различные теплоизоляционные материалы и изделия, отличающиеся технологией изготовления, видом связующего вещества, областью применения. Перлитокерамические теплоизоляционные изделия весьма эффективны. В пределах своей температуростойкости (900°C) перлитокерамические изделия во многих случаях могут заменять легковесные огнеупоры. По объемной массе они не отличаются от так называемых ультралегковесных огнеупоров, но перлитокерамические изделия в 10 раз дешевле. Безобжиговые перлитоцементные изделия получают путем формования и сушки. Их выпускают в виде скорлуп, сегментов и плит.

**Вермикулит.** Вспученный вермикулит представляет собой сыпучий зернистый материал чешуйчатого строения, получаемый в результате обжига природного вермикулита.

**Теплоизоляционные легкие бетоны** (слитного строения и крупнопористые) готовят из пористого заполнителя—вспученного перлита, легкого керамзита или вермикулита и минерального (реже органического) вяжущего. Перлитовые изделия включают перлитовый обжиговый заполнитель—легковес, перлитобитумные и битумно-перлитные изделия, перлитопластбетон, перлитофосфатные изделия, поризованный перлитосиликат, их плотность 150-300 кг/м<sup>3</sup>.

**Вулканитовые изделия** изготавливают из смеси молотого диатомита или трепела (около 60%), воздушной извести (20%) и асбеста (20%). Диатомитовые (трепельные) теплоизоляционные изделия изготавливают в виде кирпича, скорлуп и сегментов из диатомитов и трепелов путем формования, сушки и обжига. Теплоизоляционные пенодиатомитовые изделия (ПД) изготавливают с добавкой специально приготовленной пены; теплоизоляционные диатомитовые (Д) и теплоизоляционные трепельные (Т) —с древесными опилками в качестве выгорающей добавки. Теплоизоляционные диатомитовые, трепельные и пенодиатомитовые изделия применяют для тепловой изоляции печей, а также промышленного оборудования и трубопроводов с температурой изолируемых поверхностей до 900°C.

**Совелит** является в стране наиболее распространенным асбестомagneзиальным материалом. Сырьем для производства совелита служат доломит (CaCO<sub>3</sub>-MgCO<sub>3</sub>) и асбест (в количестве 15%). Как и во всех асбестсодержащих материалах, его роль—создавать армирующий каркас материала. Изделия из совелита изготавливают в виде плит и скорлуп. Совелит применяют для изоляции промышленного оборудования при температурах до 500°C.

**Теплоизоляционные цементные ячеистые (газо- и пено-) бетоны** получают плотностью 100-500 кг/м<sup>3</sup>. Эти бетоны имеют низкую теплопроводность, достаточную марку по прочности, низкое водопоглощение, морозостойки, обладают хорошей гвоздимостью, повышенной огнестойкостью. Бетонная смесь высокопластична, заполняет форму для утепления наружных ограждений в виде комбинированных плит или монолита, изоляции трубопроводов и других конструкций.

**Ячеистое стекло** (пеностекло) вырабатывают из стекольного боя, либо используют те же сырьевые материалы, что и для производства других видов стекла: кварцевый песок, известняк, соду и сульфат натрия. Могут использоваться горные породы: трахиты, сиениты, нефелины, обсидианы. При спекании порошка стекольного боя с газообразователями (коксом и известняком, мел или карбиды кальция и кремния) - выделяется углекислый газ, образующий поры. Ячеистое стекло имеет в материале стенок крупных пор мельчайшие микропоры, обуславливающие малую теплопроводность при достаточно высокой прочности, водостойкости и морозостойкости. Применяют для теплоизоляции тепловых сетей при их подземной бесканальной прокладке, для теплоизоляции стен, перекрытий, кровель, в конструкциях холодильников.

**Стеклопор** получают путем грануляции и вспучивания жидкого стекла с минеральными добавками (мелом, молотым песком, золой ТЭС и др.). Стеклопор выпускают трех марок: "СЛ" с  $\rho=15-40 \text{ кг/м}^3$ ,  $\lambda=0,028-0,035 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ ; "Л" с  $\rho=40-80 \text{ кг/м}^3$ ;  $\lambda=0,032-0,04 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ ; "Т" с  $\rho=80-120 \text{ кг/м}^3$ ;  $\lambda=0,038-0,05 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ . В сочетании с различными связующими стеклопор используют для изготовления штучной, мастичной и заливочной теплоизоляции. Наиболее эффективно применение стеклопора в наполненных пенопластах, так как введение его в пенопласт позволяет снизить расход полимера и значительно повысить огнестойкость теплоизоляционных изделий.

**Монтажные асбестовые материалы** выпускают в виде листов и рулонов из асбестового волокна; иногда вводят наполнитель и небольшое количество склеивающих веществ (крахмала, казеина и др.), получая асбестовую бумагу, картон, шнур. Алюминиевую фольгу применяют в качестве отражателей изоляции в воздушных прослойках слоистых ограждающих конструкций зданий и для теплоизоляции промышленного оборудования и трубопроводов при температурах до  $300^\circ\text{C}$ .

**Неорганические рыхлые материалы** для мастичной теплоизоляции изготавливают из смеси волокнистых материалов (асбеста, минерального волокна) с неорганическими вяжущими, затворяемыми водой. Их применяют для изоляции промышленного оборудования и трубопроводов с учетом температуры у границ теплоизоляционного слоя.

*Минераловатную смесь* готовят из минеральной ваты, асбеста, тонкодисперсной глины и портландцемента.

*Асбестодиатомитовый порошок* представляет собой смесь асбеста (15%), молотого диатомита и трепела (85%) иногда с добавками других веществ (отходов асбоцементных заводов, слюды).

*Совелитовый порошок*—это смесь легкого основного углекислого кальция с асбестом, применяемая при температурах до  $500^\circ\text{C}$ . Готовая совелитовая теплоизоляция имеет плотность  $450 \text{ кг/м}^3$  и теплопроводность - не более  $0,098 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ .

*Асбестомagneзиальный порошок* (ньювель) готовят в виде смеси легкого основного углекислого кальция с асбестом и применяют при температурах до  $500^\circ\text{C}$ .

**Зернистые материалы** применяют для теплоизоляционных засыпок. При температурах до  $900^\circ\text{C}$  применяют: вспученный перлит в виде пористого песка, вспученный вермикулит, измельченные диатомиты и трепелы.

При температурах до  $450-600^\circ\text{C}$  применяют гранулированную и стеклянную вату, дробленую пемзу и вулканический туф, топливные шлаки, получаемые при сжигании кускового топлива, топливные золы от сжигания пылевидного топлива, доменные гранулированные шлаки.

### 1.9.3. Органические теплоизоляционные материалы

Теплоизоляционные материалы, основную массу которых составляют полимеры, часто называют газонаполненными пластмассами. По характеру структуры эти материалы подразделяют на пенопласты, поропласты и сотопласты. Пенопласты—материалы, имеющие ячеистое строение с не сообщающимися, замкнутыми порами. Поропласты имеют сообщающиеся поры. Такое деление весьма условно, так как материал одновременно может иметь как сообщающиеся, так и замкнутые ячейки. Сотопласты—газонаполненные пластмассы с регулярно повторяющимися полостями правильной геометрической формы. Для производства газонаполненных пластмасс применяют термопластичные и терморезистивные полимеры, вспененные химическим или физическим способами. При химическом способе поризации газообразователь (порофор), введенный в полимер, либо разлагается при нагревании, либо взаимодействует с компонентами композиции с выделением газообразных продуктов, вспенивающих полимер. Физический способ основан на механическом диспергировании воздуха в среде полимера с одновременным или последующим отверждением последнего. К этому способу относят также метод вспенивания, основанный на повышенной растворимости некоторых жидкостей или газов в полимере при повышенных температуре и давлении. При снижении этих параметров растворенные жидкость или газ начинают интенсивно выделяться, вспенивая полимер. Сотопласты получают формованием исходного материала без вспенивания, поры создают специальными пустообразователями. В ячеистых пластмассах поры занимают 90-98% объема материала, а на стенки приходится всего лишь 2-10%, поэтому ячеистые пластмассы очень легки и малотеплопроводны (теплопроводность  $0,026-0,058 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ ). В то же

время они водостойки, не загнивают; жесткие пено- и поропласты достаточно прочны, гибки и эластичны. Особенностью теплоизоляционных пластмасс является ограниченная температуростойкость. Применяют газонаполненные пластмассы для тепловой и холодильной изоляции в промышленном и гражданском строительстве, в вагоно-, самолето- и кораблестроении, в бытовых приборах и оборудовании и т.д. Для тепловой и холодильной изоляции промышленного оборудования и трубопроводов наибольшее распространение получили пенополистирол, пенополивинилхлорид, мипора, пенополиуретан, фенолформальдегидный пенопласт. Теплоизоляционные изделия из этих материалов выпускают в виде плит, блоков и скорлуп. Основным недостатком органических теплоизоляционных материалов является их горючесть. Горючесть большинства пенопластов можно значительно снизить. Основными приемами снижения возгораемости этих материалов, как и полимеров вообще, являются: введение минеральных тонкомолотых добавок или волокнистых материалов, снижающих горючесть изделий в целом; введение веществ, разлагающихся при нагревании с выделением продуктов, препятствующих горению, например с выделением углекислого газа, фосфорных соединений и т.д. Поскольку температуростойкость газонаполненных пластмасс зависит от температуростойкости смолы (наполнитель в большинстве случаев имеет более высокую температуростойкость), максимальная температура применения термопластов, материалов на основе термопластичных смол, как правило, ниже температуры применения реактопластов (материалов на основе термореактивных смол).

**Фибролит** - плитный материал из древесной шерсти и неорганического вяжущего вещества. Вяжущим чаще всего служит портландцемент и раствор минерализатора–хлористого кальция. Плиты выпускают плотностью 300-500 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводностью 0,1-0,15 Вт/(м·°С). Плиты применяют для теплоизоляции ограждающих конструкций, для устройства перегородок, каркасных стен и перекрытий в сухих условиях. Фибролит хорошо обрабатывается–его можно пилить, сверлить, в него можно вбивать гвозди.

**Арболитовые изделия** изготовляют из портландцемента и органического коротковолокнистого сырья (древесных опилок, дробленой станочной стружки или щепы, сечки соломы или камыша, костры и др.), обработанного раствором минерализатора. Химическими добавками служат: хлористый кальций, растворимое стекло, серноокислый глинозем. Одним из перспективнейших современных теплоизоляционных материалов является использование вторичного сырья из бытовых отходов (бумаги и картона). Полученная **эковата** является идеальным заменителем традиционных утеплителей: минеральной ваты, стекловаты и т.д. Эковата трудно сгораема, что обусловлено добавками антипиренов, биостойка, обладает звукопоглощающими свойствами.

**Сотопласты** изготовляют путем склейки гофрированных листов бумаги, стеклянной или хлопчатобумажной ткани, пропитанных полимером. Они служат эффективным утеплителем в трехслойных панелях. Теплоизоляционные свойства сотопласта повышаются при заполнении ячеек крошкой из мипоры.

**Пенополиуретан** получают в результате химических реакций, протекающих при смешении исходных компонентов (полиэфира, диизоцианата, воды, катализаторов и эмульгаторов). Изготовляют жесткий и эластичный полиуретан. Жесткий полиуретан используется в широком интервале температур, отличается легкостью и экономичностью обработки, высокой механической прочностью, устойчивостью к износу и химической и биологической стойкостью. Характеризуется самой низкой теплопроводностью по сравнению с другими изоляционными материалами, теплопроводность при температуре 10°С ниже 0,019 Вт/(м·°С). Может быть использован при температуре от -50°С до +110°С. Нулевая капиллярность. Объемное водопоглощение 0,2%.

Стойкость к действию грибков и микроорганизмов делает его не гниющим и не разлагающимся. Жесткий пенополиуретан применяют в виде плит и скорлуп. Эластичный пенополиуретан служит для герметизации стыков панелей. Разработаны рецептуры заливочных композиций, которые могут вспениваться даже на холоде. Материал «самозатухающий» по огнестойкости.

**Пенополистирол**–вспененный суспензионный полистирол. Пенополистирол-легкий, имеет плотность до 25 кг/м<sup>3</sup>, стоек к истиранию, низкое водопоглощение, трудно воспламеняется. Недостатком материала является усадка, которую можно уменьшить путем выдерживания материала до применения и использования гибких и эластичных материалов типа битумно-эластомерного

наплавляемого полотна в качестве гидроизоляционного слоя. Применяется в трехслойных стеновых панелях на гибких связях совместно с жесткими минераловатными плитами, при теплоизоляции стен и кровель.

Пенополиуретан и пенополистирол выпускают как высокоэффективные теплоизоляционные материалы, а в сочетании с упаковкой в усадочную пленку под давлением или другими приемами как *новые гидротеплоизоляционные материалы*.

**Пенополивинилхлорид** выпускают жесткий и эластичный. Жесткий пенополивинилхлорид—теплоизоляционный материал, незначительно изменяющий свои свойства при изменении температуры от +60°C до -60°C. Он менее горюч по сравнению с пенополистиролом.

**Мипору** изготавливают путем вспенивания мочевиноформальдегидной смолы, отверждения отлитых из пеномассы блоков. Мипора наиболее легкий (10-20 кг/м<sup>3</sup>) и наименее теплопроводный из всех теплоизоляционных материалов— $\lambda=0,026-0,03$  Вт/(м·°С). Пенопласты на основе *фенолоформальдегидных полимеров* выпускают на основе чистого полимера (ФФ) с введением в него стеклянного волокна (ФС) или каучука (ФК), а также каучука и газообразователя в виде алюминиевой пудры (ФК-А).

Пористые пластмассы можно пилить, резать обычными способами, а также проволокой, нагреваемой электрическим током. Они хорошо склеиваются с бетоном, асбоцементом, металлом, древесиной. Это значительно упрощает изготовление крупных панелей ограждающих конструкций.

Некоторое распространение, как теплоизолирующие материалы, имеют древесностружечные и древесноволокнистые изоляционные плиты. На основе растительного сырья готовят ряд местных материалов: камышит, соломит, торфяные изоляционные плиты и др.

### **1.10. Полимерные материалы**

Если нынешнее время называют «веком полимеров», то, естественно, трудно назвать отрасль промышленности где они не используются. Наиболее крупными потребителями полимеров являются машиностроение, электроника, радиотехника, ракетно-космическая техника, строительство. А если посмотреть глазами химика на свою квартиру, то получается, что практически нет в доме предмета, при изготовлении которого не использовались бы полимеры.

По признанию японских специалистов приоритет их электронной техники на мировом рынке, ее надежность и качество объясняются достижениями мембранной технологии, а мембраны это ведь полимеры. И искусственное сердце и рекордные скорости автомобилей, авиалайнеров, медицинские клеи и лекарства, прочнейшие и самые легкие конструкционные материалы, предметы гордости модниц и бронежилеты—и опять везде полимеры. Сама жизнь и мы сами в том числе—это существование и воспроизведение биополимеров— белков, нуклеиновых кислот, полисахаридов, ферментов. Полимеры наши спутники с младенческого возраста до глубокой старости, начиная с соски, игрушек и одежды и кончая всей бытовой техникой.

**Полимеры**—химические соединения с высокой молекулярной массой (от нескольких тысяч до многих миллионов), молекулы которых (макромолекулы) состоят из большого числа повторяющихся одинаковых группировок (мономерных звеньев). Атомы, входящие в состав макромолекул, соединены друг с другом силами ковалентных и (или) координационных валентностей.

#### **1.10.1. Классификация полимеров**

Многообразие органических полимеров, природных и вырабатываемых в промышленном масштабе, разнообразие способов их переработки и специфичность требований, предъявляемых к изделиям в разных отраслях техники, затрудняют создание единой классификации полимерных материалов. У производителей и потребителей полимерных материалов существуют классификации полимеров, основывающихся на химическом составе, по происхождению, по механическим свойствам, по строению макромолекул, по физико-химическим свойствам, по отношению к нагреванию, по способу получения, по технологическим свойствам, происхождению наполнителей и их виду и т.д.

Сложившаяся в химической науке и промышленности классификации полимеров основана на следующих признаках: природе атомов основной цепи и полимера в целом, количестве и распределении повторяющихся звеньев, строении основной цепи и конфигурации повторяющегося участка цепи, по способам синтеза полимеров.



По химическому составу полимеры делятся на *органические*, *неорганические* и *элементорганические*. С точки зрения природы атомов основной цепи полимеры делятся на *гомоцепные* и *гетероцепные*. В гомоцепных полимерах цепь состоит из одинаковых атомов, например в карбоцепных полимерах из атомов углерода.

Органические полимеры содержат связи С—Н и функциональные группы, включающие атомы азота, кислорода, галогенов. Примером карбоцепных органических полимеров являются полиолефины и полимеры виниловых мономеров общей формулы  $[\text{CH}_2\text{—CHR}(\text{H})\text{—}]_n$ , где R — арил, галоген, эфирная, нитрильная или другая функциональная группа.









Неорганические полимеры не содержат связей С—Н, т.е. углеводородный скелет отсутствует. К гомоцепным неорганическим полимерам относятся линейные модификации серы и селена, к гетероцепным — полифосфонитрилхлорид  $[-\text{PCl}_2=\text{N}-]_n$ . Сюда также относят оксиды Si, Al, Mg, Ca и др. К ним относятся керамика, слюда, асбест.

Элементорганические полимеры содержат как органические, так и неорганические группы. Примером гетероцепного элементорганического полимера является полидиметилсилоксан  $[-\text{Si}(\text{CH}_3)_2\text{O}-]_n$ . К элементорганическим полимерам можно также отнести полиорганофосфазены  $[-\text{PR}_2=\text{N}-]_n$ , которые получают при замене атомов хлора в полифосфонитрилхлориде на органические группы.

Полимеры, макромолекулы которых состоят из повторяющихся звеньев одного типа, называются *гомополимерами* (приставка «гомо» обычно опускается). В *сополимерах* макромолекулы содержат мономерные звенья нескольких типов, обычно двух или трех. Ниже приведена классификация сополимеров, содержащих повторяющиеся звенья двух типов, условно обозначенные как А и В.

Тип сополимера	Строение цепи
Статистический	—А—А—В—А—В—В—А—
Чередующийся	—А—В—А—В—А—В—А—
Блок-сополимер	—А—А—А—А—А—В—В—В—В—В—
Привитой	—А—А(ВВВВВВ)—А—А—А(ВВВВ)—А—А—

С точки зрения строения основной цепи макромолекулы подразделяются на линейные, двухтяжевые (две параллельные цепи, скрепленные различным образом), разветвленные и сшитые (сетчатые). Ниже приведена классификация макромолекул по строению основной цепи:

Тип конфигурации	Строение цепи
Линейные макромолекулы	
Двухтяжевые макромолекулы:	
Лестничные	
спирополимеры	
Разветвленные макромолекулы:	
статистические	
Гребнеобразные	
Звездообразные	
Сшитые (сетчатые):	
в плоскости (паркетные)	
в пространстве	

По способам синтеза полимеров и их структуре пластические массы можно разделить на четыре класса.

Класс А. Пластические массы на основе полимеров, получаемых по реакциям цепной полимеризации.

Класс Б. Пластические массы на основе полимеров, получаемых поликонденсацией и ступенчатой полимеризацией.

Класс В. Пластические массы на основе химически модифицированных природных полимеров.

Класс Г. Пластические массы на основе природных и нефтяных асфальтов и смол, получаемых при пирогенетической деструкции различных органических веществ.

По классификации, предложенной Комитетом стандартов, мер и измерительных приборов, пластические массы разделяют на 18 групп, но прижились следующие:

1. Пластмассы на основе продуктов конденсации фенолов с альдегидами (фенопласты).
2. Пластмассы на основе продуктов конденсации аминов (мочевины, меламин и т. п.) с альдегидами (аминопласты).
3. Пластмассы на основе продуктов полимеризации фторзамещенных производных этилена (фторопласты).
4. Пластмассы на основе продуктов химической переработки целлюлозы — простых и сложных эфиров (целлопласты).
5. Пластмассы на основе продуктов конденсации изоцианатов со спиртами (полиуретановые пластики, или уретанопласты).
6. Пластмассы на основе продуктов полимеризации хлорзамещенных производных этилена (винипласты).

По поведению полимеров при изменении температуры они делятся на *термопласты* и *реактопласты*.

Реактопласты (термореактивные пластмассы)(Р)—пластические массы, переработка которых в изделия сопровождается необратимой хим. реакцией, приводящей к образованию неплавкого и нерастворимого материала. Наиболее распространены Р. на основе феноло-формальдегидных смол, полиэфирных смол, эпоксидных смол, мочевино-формальдегидных смол. Содержат обычно большие количества наполнителя—стекловолокна, технического углерода (сажа), мела и т. п.

Термопластичные полимеры (термопласты) (Т) (от термо и греч. *plastos*—вылепленный, оформленный)—пластические массы, способные размягчаться при нагревании и затвердевать при охлаждении. В отличие от реактопластов они могут после формования изделия подвергаться повторной переработке. Наиболее распространены Т. на основе полиолефинов, поливинилхлорида, полистирола, полиамидов.

При получении полимеров в промышленности используют следующие технологии:

- Полимеризация в массе (блоке), т.е. в жидком мономере;
- Полимеризация в растворе;
- Эмульсионная полимеризация;
- Суспензионная полимеризация

По группе свойств, технологий переработки и использованию полимерные материалы обычно делят на следующие группы:

- Пластмассы;
- Эластомеры;
- Волокна

### **1.10.2. Связь между химической структурой и свойствами полимера**

Наиболее важными свойствами как термопластичных, так и термореактивных синтетических полимеров являются температура размягчения, механическая прочность, жесткость, ударная вязкость (ударопрочность), светостойкость, устойчивость к окислительным и другим химическим воздействиям. Для переработки полимеров в изделия большое значение имеет также их способность переходить в жидкое состояние.

Физико-механические свойства всех синтетических полимеров можно связать с их химической структурой. Главными факторами, определяющими эти свойства, являются тип и распределение

химических связей в молекуле полимера, ее симметрия и пространственное строение, а также молекулярный вес полимера.

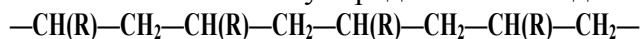
### 1.10.2. 1. Природа связи в полимерах

Полимеры состоят из структурных единиц, соединенных между собой ковалентными связями. Эти связи определяют положение отдельных атомов в цепи полимера. Однако в рамках одних только ковалентных связей не удастся удовлетворительно объяснить все наблюдаемые свойства пластмасс и каучуков, вследствие чего приходится принимать во внимание невалентные взаимодействия. Последние обычно имеют межмолекулярный характер и, несмотря на очень небольшую по сравнению с ковалентными связями энергию, оказывают существенное влияние на свойства полимерных материалов.

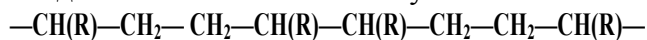
Наиболее сильным из невалентных (вторичных) взаимодействий, безусловно, является образование водородных связей, которое играет важную роль, например, в полиамидах и полимочевинах и особенно белках. Так, высокие температуры плавления полиамидов почти целиком обусловлены существованием в них межмолекулярных водородных связей. При нахождении корреляций между структурой и свойствами полимеров необходимо также учитывать дипольные и другие индукционные взаимодействия; так, например, в полиэфирах существуют диполь-дипольные взаимодействия. Наконец, во всех полимерах проявляются дисперсионные силы, на долю которых в неполярных молекулах, например, углеводородных полимерах, приходится значительная часть межмолекулярных взаимодействий.

### 1.10.2. 2. Строение полимерных цепей

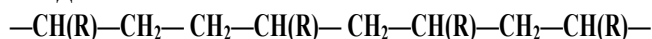
В первом исследовании строения полимерных цепей, проведенном Штаудингером, было установлено, что в полистироле фенильные группы расположены вдоль макромолекулярной цепи в правильном порядке и связаны с альтернантными атомами углерода, т. е. звенья стирола соединены по типу «голова к хвосту». Возможно также соединение мономерных звеньев по типу «голова к голове» или неупорядоченное соединение



соединение «голова к хвосту»



соединение «голова к голове»



неупорядоченное соединение

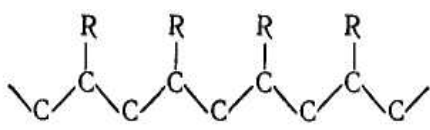
Существование всех этих возможностей обусловлено тем, что в принципе присоединение начального радикала или иона к мономеру винильного типа  $\text{CH}_2=\text{CHR}$  может происходить по любому из ненасыщенных атомов углерода и зависит от стабильности образующегося продукта. Большинство виниловых полимеров имеют преимущественно структуру типа «голова к хвосту».

Другим видом изомерии полимерной цепи, который наиболее характерен для полиэтилена, является ее ветвление. В этом случае узловые атомы становятся трифункциональными, что приводит к получению макромолекулы с короткими ответвлениями, имеющей вид птичьего пера (рис.1.4).

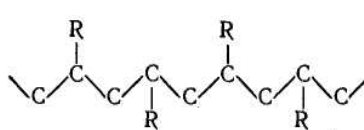
Наконец, при обсуждении изомерии цепи полимеров, синтезированных из мономеров типа  $\text{CH}_2=\text{CHR}$ , следует принимать во внимание пространственную изомерию. Штаудингер пришел к выводу, что в таких полимерах углеродные атомы, несущие заместитель R, могут быть асимметрическими и иметь либо R-, либо S-конфигурацию. Полимеры, в молекуле которых все заместители находятся по одну сторону основной цепи, называются изотактическими. Если заместители располагаются поочередно по разные стороны основной полимерной цепи, то такие полимеры принято называть синдиотактическими. Полимеры с неупорядоченным пространственным расположением заместителей относительно полимерной цепи называют атактическими.



Рис.1.4. Ветвление полимера.

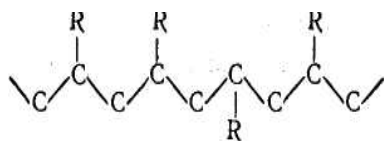


изотактический полимер



синдиотактический полимер

атактический полимер



### 1.10.2. 3. Кристалличность

Несмотря на то, что многие синтетические полимеры дают дискретные рентгенодифрактограммы, их изучение показывает, что ни один из полимеров не является полностью кристаллическим и что в «полукристаллическом» полимере одновременно присутствуют области с кристаллической (упорядоченной) и аморфной (неупорядоченной) структурой. Чаще всего кристалличность наблюдается у симметрично построенных полимеров. Нарушения правильной структуры, такие, как ветвление, включения звеньев сомономера, поперечные связи, атактические участки и др., обычно вызывают уменьшение степени кристалличности. Накопление перечисленных факторов может в конечном итоге привести к получению совершенно аморфных материалов. Так, атактические полимеры, смолы с большим числом поперечных связей и сополимеры с высоким содержанием звеньев второго мономера, как правило, полностью аморфны.

Высококристаллические полимеры обычно имеют относительно четко выраженные температуры плавления ( $T_{пл}$ ), которые можно определять различными оптическими и термическими методами. Из-за значительной кристалличности переработку таких полимеров методами, включающими их расплавление (например, литьем под давлением и экструзией), следует вести при температурах выше их температуры плавления.

### 1.10.2. 4. Температура стеклования

Существует большое число некристаллических (аморфных) полимеров, которые не способны к истинному плавлению, но вместе с тем при достаточно низких температурах становятся жесткими и твердыми. Температура этого превращения зависит от природы полимера и колеблется от минус  $70^{\circ}\text{C}$  для натурального каучука до  $100^{\circ}\text{C}$  для полиметилметакрилата. Эта температура, при которой аморфный полимер переходит из эластичного, каучукоподобного состояния в жесткое, стеклообразное состояние, называется температурой стеклования ( $T_{ст}$ ). На молекулярном уровне ее можно представить как температуру, при которой относительно большие сегменты основной цепи полимера становятся подвижными. Ниже этой температуры значительные перемещения сегментов затруднены и аморфный полимер становится жестким и твердым, тогда как при более высокой температуре относительная подвижность длинных участков макромолекулярной цепи обуславливает каучукоподобность полимера.

Температура стеклования определяется аморфными участками полимера. Однако, поскольку «кристаллические» органические полимеры никогда не бывают кристаллическими на 100%, они тоже имеют наряду с температурой плавления температуру стеклования. При нагревании высококристаллического полимера переход через  $T_{ст}$  не всегда сопровождается его видимым размягчением, так как каучукоподобные аморфные сегменты макромолекул продолжают удерживаться на своих местах кристаллическими сегментами и размягчение в обычном смысле этого слова наступает только при температуре плавления полимера.

### 1.10.3. ИНГРЕДИЕНТЫ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ингредиенты (ИН) (compounding ingredients, Mischungszusatzstoffe, ingredients de melange) – добавки, которые вводят в полимеры для придания им требуемых эксплуатационных свойств и облегчения переработки. ИН вводят практически во все полимеры, т. к. часто переработка и применение полимеров, не содержащих добавок, невозможны. Количество ИН может изменяться в широких пределах – от долей до десятков процентов в расчете на полимер. Общие требования к ИН: 1) способность диспергироваться в полимере с образованием достаточно однородных композиций; 2) стабильность свойств при хранении, а также в условиях переработки и эксплуатации полимерного материала. Желательно также, чтобы реагенты, применяемые в качестве ИН, были безвредны для организма человека. Ниже рассматриваются основные группы ИН.

**Наполнители** могут оказывать влияние на самые разнообразные свойства полимеров: прочность, твердость, теплопроводность, теплостойкость, стойкость к действию агрессивных сред, диэлектрические и фрикционные свойства и др.

По происхождению наполнители делят на органические и неорганические (минеральные), по структуре — на порошкообразные, волокнистые и листовые.

Механизм взаимодействия полимера с наполнителем определяется химической природой этих материалов и характером поверхности наполнителя. Наибольший эффект достигается при возникновении между наполнителем и полимером химических связей или значительных адгезионных сил. Наполнители, способные к такому взаимодействию с полимером, называются активными; не взаимодействующие с полимером—инертными. Последние применяют главным образом для облегчения переработки полимеров и снижения стоимости изделий. Содержание наполнителя в полимерном материале, как правило, не превышает 50% (в расчете на полимер); в отдельных случаях оно составляет—90 %. С увеличением содержания наполнителя уменьшается текучесть полимерных материалов, что может вызывать затруднения при их переработке.

Для получения наполненных полимерных материалов применяют различные способы, зависящие от типа полимера и структуры наполнителя: смешение на *вальцах* или в *смесителях*, *пропитка наполнителей* растворами или дисперсиями полимеров и др.

**Пластификаторы** применяют для повышения пластичности и расширения интервала высокоэластического состояния полимерных материалов. Кроме того, эти ИН облегчают диспергирование в полимере сыпучих ингредиентов, регулируют клейкость полимерных композиций, снижают их вязкость и температуру формования изделий. Важнейшее требование к пластификаторам—способность совмещаться с полимером. Пластификаторы не должны быть летучими и мигрировать («выпотевать») на поверхность полимерных материалов в процессе эксплуатации изделий.

В качестве пластификаторов применяют как индивидуальные органические соединения (напр., сложные эфиры), так и разнообразные технические смеси, например нефтяные минеральные масла с различным содержанием ароматических, нафтеновых и парафиновых углеводородов. Для большинства полимерных материалов обычно одновременно применяют смеси пластификаторов различных типов (2–3 и более). Содержание пластификаторов может изменяться в широких пределах; в некоторых случаях оно достигает 30÷40% в расчете на полимер.

Применяют также вторичные пластификаторы, которые в отличие от первичных сами по себе не совмещаются с поливинилхлоридом, и их распределение в нем достигается за счет первичного пластификатора. Обычно вторичные пластификаторы дешевле первичных, и ими можно заменять до одной трети первичного пластификатора без существенного изменения свойств композиции.

**Стабилизаторы** применяют для защиты полимеров от старения. Основные виды стабилизаторов: *антиоксиданты (термостабилизаторы)*, которые являются ингибиторами термической деструкции и термоокислительной деструкции; *антиозонанты*—ингибиторы озонного старения; *светостабилизаторы*—ингибиторы фотоокислительной деструкции; *антирады*—ингибиторы радиационной деструкции. К стабилизаторам относятся также и *противоутомители*—вещества, повышающие усталостную выносливость резин при многократных деформациях.

При выборе стабилизирующей системы необходимо учитывать возможность взаимного влияния различных компонентов смеси. Так, некоторые антиозонанты ускоряют фотоокислительную деструкцию полимеров. Ряд красителей обладает свойствами эффективных светостабилизаторов; некоторые наполнители (напр., сажа) ингибируют окисление пластмасс и резин. Ненасыщенные пластификаторы могут взаимодействовать со стабилизатором и подавлять его действие. В ряде случаев проявляется взаимное усиление действия двух и более стабилизаторов (так наз. синергический эффект). Некоторые стабилизаторы (например производные вторичных ароматических аминов и фенилендиамина) обуславливают изменение цвета белых и светлоокрашенных полимерных материалов при их эксплуатации в условиях светового воздействия.

**Красители** применяют для получения окрашенных полимерных материалов. Для этой цели пригодны органические красители различных классов (пигменты и лаки, жиро-, спирто- и водорастворимые красители и др.) и неорганические пигменты. К красителям предъявляют следующие

специфические требования: 1) высокая дисперсность (размер частиц 1—2 мкм); 2) отсутствие склонности к миграции на поверхность изделий; 3) свето-, термо- и атмосферостойкость; 4) стойкость к действию кислот, щелочей и др. агрессивных сред. Красители могут вводиться в полимеры как в виде порошков, так и паст или гранул, которые содержат обычно 30—70% красителя, диспергированного в связующем.

**Сшивающие агенты** вводят в полимеры с целью создания на определенной стадии переработки поперечных связей между макромолекулами. Образование этих связей обуславливает повышение прочностных и других технических свойств полимерных материалов. Сшивающие агенты обычно условно подразделяют на вулканизирующие агенты (для каучуков) и отвердители (для пластиков).

**Вулканизирующие агенты** (сера, органические дисульфиды и др.) обычно применяют в сочетании с *ускорителями вулканизации* и *активаторами вулканизации* для превращения каучуков в резины. Иногда в резиновую смесь вводят также замедлители *подвулканизации*, или *антискорчинги* (фталевый ангидрид, трихлормеламин, нитрозосоединения и др.).

В качестве **отвердителей** могут применяться как различные полифункциональные соединения (диамины, кислоты и их ангидриды, гликоли, аминспирты, изоцианаты и др.), так и инициаторы полимеризации в сочетании с ускорителями и активаторами. К сшивающим агентам относятся **сиккативы**—добавки, ускоряющие высыхание (структурирование) пленкообразующих полимерных материалов.

**Структурообразователи** (регуляторы структурообразования) —добавки, оказывающие влияние на процессы образования *надмолекулярных структур* и способствующие получению материалов с желаемой структурой. Такими добавками могут служить различные окислы, карбиды, нитриды и др. соединения в виде тонкодисперсных порошков, а также некоторые соли органических кислот, *поверхностно-активные вещества* и др. Играя роль искусственных центров кристаллизации или снижая поверхностное натяжение на границе кристалл—расплав, эти ИН способствуют возникновению в полимерном материале мелкокристаллической структуры, характеризующейся улучшенными физико-химическими, прочностными и др. свойствами. Равномерное распределение структурообразователей в полимере связано со значительными трудностями, т. к. их содержание составляет всего 0,1÷1,0% в расчете на полимер.

**Порообразователи** вводят для получения полимерных материалов пористой структуры. Такая структура создается в результате протекания физических процессов, приводящих к возникновению в массе полимера парогазовой фазы, или химических реакций, сопровождающихся выделением газообразных продуктов или пара. В первом случае порообразователями служат химически инертные низкомолекулярные углеводороды, обладающие в газообразном состоянии низким коэффициентом диффузии (напр., пентан, изопентан, гексан), во втором—соединения, которые либо разлагаются при определенной температуре с выделением газообразных продуктов либо выделяют эти продукты в результате взаимодействия с полимером или с другими ИН.

**Смазки** применяют с целью снижения липкости и предотвращения прилипания полимерных материалов к рабочим поверхностям оборудования. Смазками служат парафины, воски и др. вещества, склонные к миграции на поверхность полимера. Они облегчают также диспергирование в полимере сыпучих ингредиентов и способствуют повышению озоностойкости полимерных материалов.

**Антипирены**—добавки, снижающие горючесть полимерного материала, затрудняющие его воспламенение и замедляющие процесс распространения в нем пламени (в идеальном случае—приводящие к его самозатуханию при вынесении из пламени). Эти добавки не должны ухудшать основные свойства материала—прочность, теплостойкость и др., должны обладать достаточной атмосферостойкостью, низкой токсичностью и не взаимодействовать с остальными ИН в условиях переработки. Наиболее целесообразно введение антипиренов в полимерный материал при его изготовлении или перед переработкой; однако они могут применяться также и в виде покрытий. Антипиренами служат главным образом галогенсодержащие соединения, производные фосфора, изоцианаты, соединения сурьмы, а также их комбинации.

**Антистатик** препятствуют возникновению и накоплению статического электричества в конструкциях и изделиях из полимерных материалов. К этой группе относятся различные поверхностно-активные вещества—амины, четвертичные аммониевые основания и др.

**Антимикробные агенты**—добавки, препятствующие зарождению и размножению микроорганизмов в полимерных материалах. Эти ИН должны быть эффективны при применении в малых концентрациях (доли процента в расчете на полимер). Антимикробными агентами служат органические соединения Sn, As, Hg, меркаптаны, бромированные салициламиды и др.

#### 1.10.4. ПЛАСТИЧЕСКИЕ МАССЫ

Пластические массы—это композиции, состоящие из полимера и необходимых ингредиентов, способных приобретать заданную форму при нагревании и давлении и устойчиво сохранять ее после охлаждения.

По своим физико-механическим свойствам при 20 °С пластики можно разделить на:

1) *Жесткие пластики*—твердые упругие материалы аморфной структуры с модулем упругости выше  $1 \cdot 10^4$  кгс/см<sup>2</sup> и малым относительным удлинением при разрыве, сохраняющие свою форму при внешних напряжениях при комнатной или повышенной температурах.

2) *Полужесткие пластики*—твердые упругие материалы кристаллической структуры с модулем упругости выше  $4 \cdot 10^3$  кгс/см<sup>2</sup>, с высоким относительным и остаточным удлинением при разрыве, причем остаточное удлинение обратимо и полностью исчезает при температуре плавления кристаллитов.

3) *Мягкие пластики*—мягкие и эластичные материалы с модулем упругости не выше  $2 \cdot 10^2$  кгс/см<sup>2</sup>, с высоким относительным удлинением и малым остаточным удлинением, причем обратимая часть деформации исчезает при комнатной температуре с замедленной скоростью.

4) *Эластики* —мягкие и эластичные материалы с модулем упругости ниже  $2 \cdot 10^2$  кгс/см<sup>2</sup>, поддающиеся значительным деформациям при растяжении, причем вся деформация или большая ее часть обратима и исчезает при комнатной температуре с большой скоростью (практически мгновенно).

Пластическими массами (или пластмассами) называются жесткие, полужесткие и мягкие пластики.

К наименованиям твердых пластических масс (за исключением пластмасс со слоистыми или волокнистыми наполнителями), выпускаемых в виде листов, пластин и плит и предназначенных для механической обработки, гнутья, штампования, пневмоформования и выдувания, добавляется прилагательное «листовой», например: винипласт листовой, фторопласт листовой и т. п.

Мягкие и эластичные пластические массы, содержащие значительное количество пластификаторов и выпускаемые в виде листов, рукавов, шлангов, лент и т.д., носят техническое наименование «пластикат».

Среди пластических масс со слоистыми наполнителями различают следующие виды материалов:

Наполнитель	Название пластмассы
Асбестовый картон	Асболит
Асбестовая ткань	Асботекстолит
Бумага или картон	Гетинакс
Древесный шпон	Древесные пластики,
Стеклянная ткань	Стеклотекстолит
Ткань из органического волокна	Текстолит

Пластические массы с волокнистым наполнителем получают свое техническое название в зависимости от вида наполнителя:

Наполнитель	Пластмасса
Распушенный асбест	Асбоволокнит
Органическое волокно	Волокнит
Стеклянное волокно	Стекловолокнит
Текстильная крошка или обрезки ткани	Текстоволокнит

В зависимости от формы полимерных материалов различают

Сыпучие материалы:

Размер частиц, мм	Название
менее 2	Прессовочные порошки
более 2	Гранулы или крупка

Листовые и слоистые материалы

Толщина, мм	Название
менее 0,5	Пленка
0,5—2	Листы
2—8	Пластины
более 8	Плиты

Материалы с малой плотностью (от  $0,03 \text{ г/см}^3$  до  $0,3 \div 0,6 \text{ г/см}^3$ ), имеющие пористую ячеистую структуру, называются пенопластами или поропластами.

Термин «отверждение» применяется для обозначения процесса отверждения термореактивных пластмасс при нагревании (в горячей прессформе). Процесс отверждения термопластичных пластмасс при охлаждении обозначается термином «отверждение».

### 1.10.5. Каучуки и резины

**Каучук натуральный** (НК) [франц. caoutchouc; первоисточник: кау–дерево и учу–плакать, течь (на языке южноамериканских индейцев тупи)],  $[-\text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_2)=\text{CHCH}_2-]_n$ –природный полимер, обладающий при обычных температурах высокоэластическими свойствами и используемый для получения резины. Содержится в млечном соке (латексе) каучуконосных растений; добывается главным образом из бразильской гевеи. Латекс извлекают подсочкой коры дерева; каучук выделяют коагуляцией с помощью муравьиной или уксусной кислот.

Важнейшие типы–рифлёный смокед-шит (продукт светло-янтарного цвета) и светлый креп (продукт светло-кремового цвета). Основная составная часть НК (91÷96%)–полиизопрен ( $\text{C}_5\text{H}_8$ )<sub>n</sub>, в котором 98÷100% звеньев изопрена присоединены в положении 1,4-цис. Плотность  $910 \div 920 \text{ кг/м}^3$ . Стоек к действию воды, хорошо растворим во многих органических растворителях, сильно набухает в маслах. При длительном хранении ниже  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ , а также при растяжении кристаллизуется, что обуславливает высокую прочность при растяжении ненаполненных резин ( $\sim 30 \text{ МПа}$ ). Резины характеризуются также высокой эластичностью (относительное удлинение 600 - 900%), износо- и морозостойкостью, но сравнительно невысокой атмосферостойкостью. Основная область применения - производство шин. Используется также для изготовления конвейерных лент, приводных ремней, амортизаторов. Значительная часть НК применяют в виде латекса

**Каучуки синтетические** (СК)–синтетические полимеры, которые, подобно каучуку натуральному, обладают при обычных температурах высокоэластическими свойствами и могут быть переработаны в резину. Все СК делят обычно на каучуки общего в специального назначения. Первые применяют в производстве изделий, в которых реализуется основное свойство резины– высокая эластичность (шины, конвейерные ленты и др.), вторые–в производстве изделий, которые наряду с эластичностью должны обладать специфическими свойствами (тепло-, масло-, бензо-, морозо-, атмосферостойкостью в др.). Применение СК специального назначения позволяет получать резиновые изделия с такими техническими свойствами, которые отсутствуют у резин на основе натурального каучука. Особые группы СК–синтетические и искусственные латексы, жидкие каучуки, термоэластопласты. Основные методы получения СК–эмульсионная и стереоспецифическая полимеризация. Наибольшее распространение получили следующие каучуки: бутадиен-нитрильные, бутадиеновые, бутадиен-стирольные, бутилкаучук, изопреновые синтетические, кремнийорганические, полисульфидные, уретановые эластомеры, этилен-пропиленовые хлоропреновые каучуки, фторкаучуки.



Вулканизация (В)[от имени Вулкана (Vulcanus)—бога огня и кузнечного дела в римской мифологии]—технологический процесс, при котором каучук превращается в резину. В результате В. повышаются прочность, твёрдость, эластичность, тепло- и морозостойкость каучука, снижается степень его набухания в органических растворителях. Эти изменения обусловлены соединением макромолекул каучука в т. н. вулканизационную сетку, образуемую химическими поперечными связями. В их создании участвуют вулканизирующие агенты (гл. обр. сера, реже—органические пероксиды, синтетич. смолы и др.), ускорители (органические сульфиды, меркаптаны и др.) и активаторы (ZnO, MgO и др.). Наиболее часто В. проводят при повышенных температурах (140÷200 °С). Заготовки вулканизируют в формах, котлах, автоклавах, индивидуальных вулканизаторах, гидравлических прессах, аппаратах непрерывного действия. Под действием ионизирующей радиации ( $\gamma$ -излучение радиоактивного кобальта, поток быстрых электронов) может быть осуществлена т. н. радиационная В. Этим способом получают резины, обладающие высокой химической и термической стойкостью. При использовании некоторых вулканизирующих систем, а также ряда каучуков (напр., винилпиридиновых) вулканизационная сетка может частично образоваться на стадиях технологического процесса, предшествующих В. (при смешении каучука с ингредиентами, каландровании и т. д.). Это явление (подвулканизация, скорчив) приводит к ухудшению технологических свойств резиновых смесей, а в некоторых случаях вообще исключает возможность их дальнейшей переработки. Для уменьшения опасности подвулканизации используют определенные типы ускорителей В. или вводят в состав смесей специальные добавки, напр. фталевый ангидрид.

Резины (вулканизаты, rubbers, Gummi)—продукты вулканизации каучуков. Отличительная особенность Р.— их способность к большим обратимым, т. н. высокоэластическим, деформациям. Резину получают из композиций, т. н. резиновых смесей, которые, помимо каучука, содержат следующие ингредиенты: 1) *вулканизирующие агенты*; 2) *ускорители вулканизации, активаторы вулканизации*, а в некоторых случаях и замедлители *подвулканизации*; 3) наполнители 4) *пластификаторы*; 5) стабилизаторы—главным образом *антиоксиданты*, а также *антиозонанты, светостабилизаторы, противоутомители, антирады*.

Кроме перечисленных ингредиентов, в некоторые смеси вводят красители, одоранты, пластики и др. С целью снижения стоимости резины каучук иногда частично или полностью заменяют регенератом (резиновые отходы). Наиболее простые резиновые смеси содержат 5÷6 ингредиентов, сложные — до 15÷20.

К активным наполнителям, повышающим прочность и износостойкость резин, относятся технический углерод (канальный, газовый, антраценовый, печной, ламповый), оксиды цинка и магния, каолин. Неактивными (инертными) наполнителями, придающими резинам специфические свойства (химическую стойкость, теплостойкость и т. п.), являются мел, тальк, барит.

Выбор типа каучука и ингредиентов, их количественное соотношение в смеси определяется назначением Р., а также экономическими соображениями. Резиновые смеси изготавливают в резиносмесителях или на вальцах. Иногда ингредиенты вводят в латекс (эмульсия каучука).

**Классификация.** В зависимости от назначения резину (Р) делят обычно на следующие основные группы:

1. Р. о б щ е г о н а з н а ч е н и я, работающие в интервале температур от минус 50 до 150°С. Эти Р. изготавливают на основе натурального, синтетических изопреновых, стереорегулярных бутадиеновых, бутадиен-стирольных, хлоропреновых каучуков, бутилкаучука и их комбинаций. Основные области применения Р. общего назначения — производство шин, некоторых *резинотехнических изделий* (напр., конвейерных лент, приводных ремней), резиновой обуви и др. бытовых изделий.

2. Т е п л о с т о й к и е Р., предназначенные для длительной эксплуатации при 150÷200°С (основа—этиленпропиленовые каучуки, бутилкаучук). Р., эксплуатируемые при более высоких температурах, изготавливают из элементоорганических каучуков, например, кремнийорганических, наполняемых специально обработанной двуокисью кремния, из

фторсодержащих каучуков, а также из неорганических полимеров типа полифосфонитрилхлорида (см. *Полифосфазены*).

3. Морозостойкие Р., пригодные для длительной эксплуатации при температурах ниже минус 50 °С. Основа этих Р. –каучуки с низкой температурой стеклования, например стереорегулярные бутadiensовые, кремнийорганические. Они могут быть также получены из неморозостойких каучуков, например бутадиев-нитрильных, при введении в состав резиновых смесей некоторых пластификаторов, например себацинатов.

4. Масло- и бензостойкие Р., длительно эксплуатируемые в контакте с нефтепродуктами, растительными маслами и др. Эти Р. получают из бутадиев-нитрильных, полисульфидных, уретановых, хлоропреновых, винилпиридиновых, фторсодержащих каучуков

5. Р. стойкие к действию различных агрессивных сред (кислото- и щелочестойкие, озоностойкие, паростойкие и др.), изготавливают на основе бутилкаучука, бутадиев-нитрильных, кремнийорганических, фторсодержащих, хлоропреновых, акрилатных каучуков, хлорсульфированного полиэтилена.

6. Электропроводящие Р., применяемые в токопроводящих полимерных покрытиях и др. проводниках, которые эксплуатируются в условиях многократных деформаций. Для их получения используют полярные бутадиев-нитрильные каучуки, а также каучуки общего назначения, наполняемые большими количествами электропроводящей (ацетиленовой) сажи.

7. Диэлектрические (кабельные) Р., которые характеризуются малыми диэлектрическими потерями, стойкостью к действию высоких напряжений. Эти Р., применяемые гл. обр. для изоляции кабелей, изготавливают на основе кремнийорганических, этиленпропиленовых, изопреновых и др. каучуков с использованием неорганических наполнителей

8. Радиационностойкие Р. (рентгенозащитные и др.), из которых изготавливают детали рентгеновских аппаратов, защитную одежду для работы с радиоактивными изотопами и др. Основа таких Р. –фторсодержащие, бутадиевнитрильные, бутадиев-стирольные каучуки; наполнители –окислы свинца или бария.

Помимо перечисленных Р., различают также вакуумные, вибро-, водо-, огне-, светостойкие, оптически активные, фрикционные, медицинские, пищевые Р. и др.

По назначению резино-технические изделия (РТИ) могут быть разделены на следующие группы: 1) передаточные элементы устройств для перемещения различных материалов (конвейерные ленты, рукава, трубки); 2) гибкие тяговые связи передач (приводные ремни, гусеничные ленты и др.); 3) эластичные соединения узлов машин и аппаратов (муфты и др.); 4) уплотнители подвижных и неподвижных соединений (сальники, манжеты, кольца, мембраны, прокладки, шнуры и др.); 5) амортизирующие детали (амортизаторы, буферы, подвески, упоры, втулки, шарниры); 6) пыле- и грязезащитные детали (чехлы, колпачки, ковры и др.); 7) электроизоляционные детали и изделия (аккумуляторные баки, полутвердые изоляционные трубки, диэлектрические ковры, пластины и др.); 8) воздухо- и водоплавающие средства (аэростаты, надувные лодки, плоты, понтоны и др.); 9) пневматические строительные конструкции (сборно-разборные промышленные, сельскохозяйственные, общественные и жилые здания и сооружения и др.); 10) средства защиты человека (лицевые части противогазов, респираторов, перчатки, костюмы, фартуки). К РТИ часто относят, кроме того, изделия бытового назначения (губки, коврики, матрацы, кресла, мячи, игрушки и др.), средства санитарии и гигиены и изделия медицинского назначения (грелки, спринцовки, соски, катетеры, зонды, трубки для переливания крови, жгуты и др.).

### **1.11. ЛАКОКРАСОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

Лакокрасочным материалом (ЛКМ) называют композицию, которая, будучи равномерно нанесена на поверхность окрашиваемого изделия, в результате сложных физических и химических превращений формируется в сплошное полимерное покрытие с определенным комплексом свойств (защитных, декоративных, специальных). Общим свойством всех лакокрасочных покрытий является изоляция поверхности от внешних воздействий, придание ей определенных вида, цвета и фактуры. Это достигается за счет получения твердой пленки на основе органических (редко неорганических,

например жидкого стекла) веществ. При этом толщина пленки может составлять несколько десятков или сотен микрометров.

Окрашенные лакокрасочными материалами изделия эксплуатируются в самых разнообразных условиях. Это относится не только к промышленным, но и к бытовым изделиям. Многие из них эксплуатируются внутри помещений, т. е. не подвергаются воздействию прямых солнечных лучей, перепадов температур, атмосферных осадков, вредных веществ, содержащихся в атмосфере промышленных районов. Но и здесь возможно воздействие высокой влажности (например, ванны, кухонные помещения), температуры (радиаторы отопления), моющих, чистящих препаратов, механических воздействия и т. д.

Факторов, влияющих на покрытие, эксплуатируемое в атмосферных условиях, гораздо больше. Сколько климатических зон в нашей стране? Тундра и пустыни, влажные и сухие субтропики, обширные территории с умеренным, континентальным или морским климатом. Это означает, что температурный интервал, в котором может работать пленка, превышает сотню градусов, от минус 40÷60 до плюс 60÷70°C. На покрытие может воздействовать интенсивная солнечная радиация, повышенная влажность.

Защита от внешних воздействий может осуществляться разными методами. Это облицовка керамическими плитками, гуммирование (резиновое покрытие), гальванические (металлические) покрытия и другие. В то же время лакокрасочные покрытия обладают рядом преимуществ. Перечислим главные:

- простота нанесения и возможность применения для защиты конструкций больших размеров и сложной конфигурации;
- возможность ремонта и подновления на месте эксплуатации;
- возможность окраски разных поверхностей одним и тем же материалом;
- возможность варьирования защитных и декоративных свойств покрытий путем применения различных лакокрасочных материалов;
- возможность получения покрытия любого цвета в сочетании со специальными свойствами;
- более низкая стоимость по сравнению с другими видами защитных покрытий (например, гальваническими, облицовкой);
- возможность нанесения некоторых материалов для специальных покрытий на влажную поверхность, что необходимо для окраски подводной части сооружений;
- возможность нанесения специальных покрытий на ржавую поверхность без удаления продуктов коррозии, что важно для окраски крупногабаритных изделий и больших поверхностей, эксплуатируемых в атмосферных условиях.

К некоторым недостаткам лакокрасочных покрытий можно отнести их паро-, газо- и водонепроницаемость, относительно низкую термостойкость и механическую прочность, которые тем не менее достаточны для применения этих покрытий.

#### **1.11.1. Классификация ЛКМ**

В зависимости от состава и назначения лакокрасочные материалы, применяемые в промышленности, подразделяют на лаки, грунтовки, шпат-левки, краски (в том числе эмали).

**Лаки** – растворы пленкообразователей в органических растворителях. Они, служат для получения прозрачных покрытий или нанесения поверхностного слоя по слою эмали для увеличения блеска покрытия. Лаки используют для получения прозрачных покрытий, когда нужно защитить и одновременно сохранить (либо особо подчеркнуть) структуру окрашиваемой поверхности, главным образом ценных пород древесины. Часто лаки наносят в качестве последнего слоя в системе многослойного покрытия для придания ему хорошего внешнего вида или повышения эксплуатационных свойств. Наиболее распространенными являются масляные, нитроцеллюлозные, битумные и другие лаки. Битумные материалы широко применяются для временной защиты металла, так как они значительно дешевле других материалов. При растворении в спирте некоторых природных смол – шеллака, сандарака (добывается путем подсочки некоторых тропических деревьев) получают лаки (концентрация 30÷45%) или политуры (15÷25%). Благодаря большой скорости испарения спирта и малой, скорости растворения смол можно наносить большое число слоев без растворения предшествующих. Спиртовые лаки и политуры дают покрытие с хорошей механической прочностью

и адгезией к различным поверхностям, высоким блеском; покрытия хорошо полируются, но характеризуются низкой водостойкостью.

**Грунтовки, шпатлевки и краски** представляют собой пигментированные лаки или олифы (высыхающие масла с добавкой катализатора процесса высыхания–сиккатива). Краски, изготовленные на лаках, называют *эмалевыми красками* или *эмальями*, а изготовленные на олифе–*масляными красками*.

**Грунтовки.** Этим термином обозначают группу материалов, представляющих собой суспензии пигментов или их смесей с наполнителями в пленкообразующем веществе, образующих после высыхания не прозрачную однородную пленку. Грунтовки применяют для нанесения нижних слоев покрытия, которые обеспечивают прочную адгезию с окрашиваемой поверхностью, и обладают хорошими антикоррозионными свойствами. Существует несколько типов грунтовок.

**Изолирующие** грунтовки обеспечивают низкую проницаемость пленки, препятствуя проникновению влаги, агрессивных сред к окрашенной поверхности. Обычно в такие грунтовки добавляют железный сурик, цинковые белила (оксид цинка) и др. Например грунтовка ГФ-021.

**Пассивирующие** грунтовки (ГФ-0119, ФЛ-Озк)–содержат в составе пигменты, способные пассивировать металл. Это в первую очередь различные хроматы и фосфаты, при введении которых в грунтовку даже в небольших количествах на поверхности металла образуется защитная оксидная пленка, предотвращающая коррозию изделия.

**Протекторные** грунтовки содержат в своем составе до 90% металлических пигментов (порошки цинка, цинка, магния, свинца и их сплавов), что обеспечивает катодную защиту металлов, особенно эффективную в морской воде.

**Фосфатирующие** грунтовки применяются для фосфатирования поверхности изделий из черных и цветных металлов. Грунтовки облегчают пассивацию металла, фосфатируют его и способствуют значительному повышению адгезии пленки как к черным, так и к цветным металлам.

Обычно эти грунтовки состоят из двух компонентов — основы и кислотного разбавителя, содержащего ортофосфорную кислоту

**Грунтовки-преобразователи ржавчины** наносят непосредственно на поверхность, с которой не удалены продукты коррозии (ржавчина, окалина). В состав грунтовок входит ортофосфорная кислота, которая превращает эти продукты в нерастворимые фосфаты железа. Эти грунтовки одновременно с преобразованием ржавчины создают на поверхности полимерную пленку, придающую коррозионную стойкость всему покрытию.

Грунтовки–чрезвычайно важные материалы. Если пренебрегают рекомендациями и требованиями по окраске, когда в качестве первой окрасочной операции предлагается грунтование, то это приводит к снижению срока службы покрытия, ускорению коррозии подложки, необходимости более частой перекраски и в конечном счете к перерасходу более дорогих покрывных материалов, увеличению стоимости окрасочных работ. Подсчитано, что при правильной окраске в общем количестве лакокрасочных материалов грунтовки должны составлять до 30%.

Грунтовки не обладают высокими декоративными свойствами, поэтому практически не используются самостоятельно в качестве отделочных материалов.

**Шпатлевки** применяют для выравнивания поверхности; они имеют вяз-кость, значительно более высокую, чем остальные лакокрасочные материалы. Это достигается введением в состав шпатлевки большого количества пигментов и наполнителей. Адгезия шпатлевок к металлу обычно значительно хуже, чем грунтовок, и поэтому их наносят по слою грунтовки. Исключение составляют эпоксидные шпатлевки, которые можно наносить непосредственно на металл.

**Краска**–это суспензия пигментов или их смеси с наполнителями в масле, олифе, эмульсии, латексе или другом пленкообразующем веществе, образующая после высыхания непрозрачную окрашенную однородную пленку. Ранее этот термин применялся преимущественно к композициям на основе высыхающих масел и олиф. Он сохранился применительно к лакокрасочным материалам строительного назначения (клеевые, вододис-персионные, силикатные и др.), материалам для неметаллических подложек (художественные краски, краски для кожи). Этот термин применяется и для порошковых составов (сухие краски, порошковые краски для металла).

Свойства красок, учитывая разнообразие применяемых пленкообразователей, весьма различны. Они применяются для защиты поверхностей и изделий, эксплуатируемых в самых разных условиях, однако в отличие от эмалей образуют покрытия с меньшей декоративностью.

**Эмалями** называют суспензии пигментов или их смесей с наполнителями в лаках, образующие после высыхания непрозрачную твердую пленку с различной фактурой (глянцевые, матовые, “муаровые” и др.) и декоративностью. Эмали применяют для получения верхних слоев покрытий по слою грунтовки или шпатлевки. Они должны придавать покрытию требуемый цвет, укрывистость и стойкость в условиях эксплуатации.

По физико-механическим характеристикам пленок (твердости, эластичности) и защитным свойствам эмали превосходят масляные и водо-дисперсионные краски. Эмали, содержащие, как правило, большое количество пленкообразователя (синтетического лака) и малое количество наполнителя, обладают повышенной декоративностью.

Очень часто различие между красками и эмалями ошибочно сводят к блеску. Эмали блестят, краски же – матовые. Такая упрощенная трактовка терминов встречается в литературе по лакам и краскам для быта.

### **1.10.2. Компоненты ЛКМ.**

Важнейшими компонентами лакокрасочных материалов являются пленкообразователи, растворители и пигменты. Кроме того, в состав лакокрасочных материалов могут входить пластификаторы, наполнители, сиккативы, катализаторы, отвердители, инициаторы и ускорители полимеризации, эмульгаторы, добавки для улучшения смачивания и растекания по поверхности (розлива), тиксотропные добавки, фунгициды и др. Некоторые из этих компонентов вводят в состав лакокрасочного материала незадолго до его применения или в процессе нанесения на поверхность вследствие ограниченного срока годности (“жизнеспособности”) получаемой смеси. В большинстве случаев пленкообразователи являются органическими веществами типа олигомеров или полимеров со сравнительно небольшим молекулярным весом.

**Пигменты** (неорганические и органические). Неорганические пигменты – природные или синтетические твердые окрашенные вещества, нерастворимые в воде, растворителях, пленкообразователях. При введении их в тонкодисперсном виде в пленкообразующие вещества образуются цветные покрытия. Органические пигменты — синтетические красящие вещества.

Важнейшими пигментами являются: свинцовые (глет, сурик, силикат, сульфаты и цианамид свинца, плумбат кальция), хромовые (хроматы цинка и свинца, фосфат хрома), металлические порошки и пудры (алюминий, цинк, свинец, медь, железо, никель) и окисные.

**Наполнители** – твердые дисперсные неорганические вещества, нерастворимые в растворителях и пленкообразователях и не обладающие красящей способностью. Используются для придания покрытию требуемого комплекса свойств и снижения стоимости материала. Так, при введении в систему талька, частички которого имеют плоскую форму, материал не только упрочняется, но и повышается его атмосферостойкость. Молотая слюда улучшает термостойкость, препятствует растрескиванию пленки при высоких температурах.

В качестве наполнителей применяются как органические, так и минеральные вещества. К органическим наполнителям относятся: древесная мука, графит, различные органические волокна; к минеральным — мел, стеклянное волокно, андезитовая мука, кварц, диабазовый порошок, тальк и др.

**Растворители** – это органические летучие жидкости (ацетон, бензин, дихлорэтан, уайт-спирит, сольвент каменноугольный и др.), применяемые для перевода пленкообразователей в состояние, пригодное к нанесению на окрашиваемую поверхность, и для регулирования вязкости лакокрасочного материала. Растворители должны полностью смешиваться с лакокрасочными материалами, не вызывая коагуляции пленкообразователя, расслаивания или помутнения раствора.

**Разбавители** – не обладают растворяющей способностью, однако в сочетании с растворителями способны регулировать вязкостные свойства систем в значительных пределах. В некоторых материалах в качестве растворителя и разбавителя используют воду, что перспективно, поскольку это позволяет ограничить применение органических растворителей и разбавителей, обуславливающих токсичность и пожароопасность лакокрасочной продукции, а также загрязнение окружающей среды.

**Пластификаторы.** В качестве пластификаторов, придающих лакокрасочным покрытиям эластичность, наиболее часто применяют дибутил- или диоктилфталат, трикрезилфосфат и др. Перспективными пластификаторами являются жидкие каучуки.

**Сиккативами** называют соединения металлов (в основном свинца, марганца, кобальта, кальция, железа) с органическими кислотами. Соли нафтеновых органических кислот называют нафтенатами, кислот льняного масла—линолеатами, смоляных кислот канифоли—резинатами и т.д. Сиккативы служат для ускорения высыхания лакокрасочных материалов.

В зависимости от типа сиккатива процесс пленкообразования начинается либо с формирования поверхностной пленки (кобальтовые сиккативы), либо у подложки, а затем распространяется по всей толщине пленки (марганцевые и свинцовые сиккативы).

Следует учитывать, что действие сиккативов не прекращается и после высыхания пленки, поэтому введение сиккатива в избытке может привести к преждевременному старению покрытий.

**Отвердитель**—химическое вещество, добавляемое к некоторым полимерным материалам непосредственно перед его употреблением (а также лакокрасочным материалам на их основе) для получения неплавкого нерастворимого продукта.

**Инициаторы**—неустойчивые перекисные и гидроперекисные соединения, которые при введении в состав лакокрасочных материалов на основе ненасыщенных полиэфиров вызывают полимеризацию с образованием необратимого покрытия. В качестве инициаторов обычно применяют перекись бензоила или гидроперекись изопропилбензола (кумола).

**Ускоритель**—химическое соединение, вводимое для повышения скорости отверждения некоторых материалов.

**Пленкообразователи.** В зависимости от способности сохранять первоначальные свойства в процессе образования пленки, в том числе плавкость и растворимость, или в результате химических процессов переходить в необратимое (неплавкое и нерастворимое) состояние, пленкообразователи подразделяют на неотверждаемые (непревращаемые, термопластичные) и отверждаемые (превращаемые, терморективные). В состав некоторых лакокрасочных материалов может входить два и более пленкообразователя.

К природным пленкообразующим относятся растительные масла, подвергнутые специальной обработке, смолы естественного происхождения (янтарь, канифоль, копалы и др.), битумы и асфальты, белковые вещества (казеин, костный клей), специально обработанная целлюлоза. Группа синтетических пленкообразующих веществ, используемых в производстве лакокрасочных материалов, гораздо шире и разнообразнее. Пленкообразующие вещества (лаки, олифы) используются в удобной для производства лакокрасочных материалов и их применения форме — в виде растворов.

**Олифы**—пленкообразователи, получаемые на основе растительных масел, прошедших специальную обработку (окисление или длительный прогрев при высоких температурах), с добавлением сиккативов и растворителей. Олифы высыхают на воздухе, образуя мягкие эластичные пленки с невысокими механическими и защитными свойствами.

В течение многих лет эти пленкообразователи занимали ведущее место среди материалов бытового и строительного назначения.

Промышленностью выпускаются несколько типов олиф. Натуральные олифы получают обработкой высыхающих или смеси высыхающих и полувсыхающих масел, они практически не содержат органических растворителей. Натуральные олифы из полувсыхающих масел используются для приготовления оконной замазки.

Комбинированные олифы и олифы “Оксоль” — продукты, полученные путем окисления высыхающих и полувсыхающих масел; первые содержат 30%, вторые—45% растворителя. Комбинированные олифы главным образом применяются как полуфабрикат для изготовления масляных красок. В некоторых литературных источниках комбинированными олифами ошибочно называют смеси препарированного растительного масла с “синтетическими” олифами или нефтеполимерными смолами. В действительности же “комбинирование” заключается не в этом. Для получения олиф с определенным комплексом свойств в зависимости от их применения (для наружных или внутренних работ, для изготовления красок и т. д.) используют комбинации различных природных масел,

например льняного и подсолнечного, или комбинации масел, прошедших различную предварительную обработку — окисленного до определенной степени масла с прогретым.

Для улучшения свойств олиф в них вводят канифоль, низкомолекулярные каучуки и другие добавки, этим и объясняется их название—“композиционные”.

Поскольку растительные масла являются ценным пищевым сырьем, а свойства олиф из них как пленкообразователей не столь высоки, основными направлениями развития промышленности лаков и красок предусматривается замена олиф на более прогрессивные материалы. Существует группа материалов, которые условно называют синтетическими олифами.

Из за более низкого качества синтетических олиф по сравнению с натуральными в быту сформировалось отрицательное отношение ко всем синтетическим материалам как к неполноценным заменителям, суррогатам. Поэтому химики, занимающиеся разработкой и изготовлением лакокрасочных материалов, должны на основе глубокого изучения свойств сырья объективно оценить его положительные и отрицательные стороны и дать потребителю рекомендации по применению и эксплуатации этих материалов. Потребители же должны четко следовать данным рекомендациям, поскольку синтетические олифы менее универсальны и области их применения ограничены.

Следует отметить, что пленкообразователи могут использоваться не только в виде растворов, но и в твердом состоянии. Это порошковые краски, применяемые в промышленности, сухие краски и шпатлевки, поступающие в розничную торговлю. Правда, при использовании в быту перед применением их растворяют в воде или органических растворителях.

Игнорирование рекомендаций, неправильное дозирование отвердителей и ускорителей по принципу “Чем больше, тем лучше”, произвольное применение растворителей и разбавителей может привести к порче материала и неисправимому браку в работе.

### 1.10.3. Маркировка ЛКМ

Существует общепринятая система обозначений лакокрасочных материалов, в которой находят отражение их свойства, назначение, условия эксплуатации, —своеобразный компас в безбрежном море лаков и красок

По преимущественному назначению и применительно к условиям эксплуатации покрытий лакокрасочные материалы делятся на группы, обозначаемые цифрами

Табл.1.5 – Кодировки ЛКМ

Применение	Кодировка	Применение	Кодировка
Атмосферостойкие	1	Маслобензостойкие	6
Ограниченно атмосферостойкие	2	Химически стойкие	7
Защитные, консервационные	3	Термостойкие	8
Специальные	4	Электроизоляционные	9
Водостойкие	5		

В классификации учитывается и тип пленкообразователя, который для краткости обозначают двумя буквами (Табл. 1.6)

Каждому лакокрасочному материалу присваиваются наименование и обозначение, состоящее из букв и цифр. Обозначение лаков состоит из четырех, пигментированных материалов—из пяти групп знаков.

Первая группа означает вид лакокрасочного материала и записывается словом—лак, краска, эмаль, грунтовка, шпатлевка. Вторая группа указывает тип пленкообразующего вещества, обозначаемый двумя буквами, указанными выше — МА, ПФ, МЛ и т. д. (эмаль МЛ, лак ПФ).

Третья группа указывает на преимущественные условия эксплуатации лакокрасочного материала, обозначаемые одной цифрой от 1 до 9, как указано выше. Между второй и третьей группами знаков ставится дефис (эмаль МЛ-1 , лак ПФ-2).

Четвертая группа—это порядковый номер, присвоенный ЛКМ при его разработке, обозначаемый одной, двумя или тремя цифрами (эмаль МЛ-1110, лак ПФ-283).

Пятая группа (для пигментированных материалов) указывает цвет лакокрасочного материала—эмали, краски, грунтовки, шпатлевки—полным словом (эмаль МЛ-1110 серо-белая).

Табл. 1.6.– Обозначение пленкообразователя.

<b>Лакокрасочные материалы на основе поликонденсационных смол</b>			
Основа	Кодировка	Основа	Кодировка
Алкидноуретановые	АУ	Эпоксидные	ЭП
Глифталевые	ГФ	Фенольные	ФЛ
Кремнийорганические	КО	Фенолоалкидные	ФА
Меламиновые	МЛ	Циклогексаноновые	ЦГ
Мочевинные (карбамидные)	МЧ	Полиэфирные насыщен-ные	ПЛ
Пентафталевые	ПФ	Эпоксифирные	ЭФ
Полиуретановые	УР	Этрифталевые	ЭТ
Полиэфирные ненасыщенные	ПЭ		
<b>Лакокрасочные материалы на основе полимеризационных смол</b>			
Основа	Кодировка	Основа	Кодировка
Каучуковые	КЧ	нефтеполимерные	НП
Масляно и алкидности- рольные	МС	На основе сополимеров: винилацетата	ВС
Перхлорвиниловые	ХВ	винилхлорида	ХС
Полиакрилатные	АК	фторопластовые	<b>ФП</b>
Поливинилацетальные	ВЛ	Поливинилацетатные	ВА
<b>Лакокрасочные материалы на основе природных смол</b>			
Основа	Кодировка	Основа	Кодировка
Битумные	ВТ	Канифольные	КФ
Масляные	МА	Шеллачные	ШЛ
Янтарные	ЯН		
<b>Лакокрасочные материалы на основе эфиров целлюлозы</b>			
Ацетобутиратцеллюлозные	АБ	Ацетилцеллюлозные	АЦ
Нитратцеллюлозные	НЦ	Этилцеллюлозные	ЭЦ

При обозначении первой группы знаков для масляных красок, содержащих в своем составе только один пигмент, вместо слова “краска” указывают наименование пигмента, например “сурик”, “мумия”, “охра” и т.д. (сурик МА-15).

Для ряда материалов между первой и второй группой знаков ставятся индексы: Б–без летучего растворителя; В–для водоразбавляемых; ВД–для воднодисперсионных; ОД–для органодисперсионных; П–для порошковых.

Третью группу знаков для грунтовок и полуфабрикатных лаков обозначают одним нулем (грунтовка ГФ-021), а для шпатлевок — двумя нулями (шпатлевка ПФ-002). После дефиса перед третьей группой знаков для масляных густотертых красок ставится один ноль (сурик МА-015)

Для лакокрасочных материалов, полученных на смешанных пленкообразователях, вторую группу знаков обозначают по пленкообразующему, определяющему свойства материала.

В четвертой группе знаков для масляных красок вместо порядкового номера ставят цифру, указывающую, на какой олифе изготовлена краска: 1–натуральная олифа; 2–олифа “Оксоль”; 3–глифталевая олифа; 4–пентафталевая олифа; 5–комбинированная олифа

В некоторых случаях для уточнения специфических свойств лакокрасочного покрытия после порядкового номера ставят буквенный индекс в виде одной или двух прописных букв, например: В–высоковязкий; М–матовый; Н–с наполнителем, ПМ–полуматовое; ПГ–пониженной горючести и т. д.



В качестве примера в таблице 1.7. приведены расшифровки обозначения лакокрасочных материалов, широко применяемых в быту.

Таблице 1.7. –Расшифровка бытовых ЛКМ

ЛКМ	Маркировка
Лак битумный специальный	Лак БТ-577
Лак глифталевый для наружных работ	Лак ГФ-166
Лак пентафталевый для работ внутри помещений	Лак ПФ-283
Эмаль меламиноалкидная серо белая для окраски автомобилей	Эмаль МЛ-197 серо-белая
Краска масляная сурик, для наружных работ на комбинированной олифе	Сурик МА-15
Белила цинковые с наполнителем на олифе “Оксоль”, для внутренних работ	Белила цинковые МА-22Н
Грунтовка глифталевая коричневая	Грунтовка ГФ-0119 коричневая
Шпатлевка нитроцеллюлозная серая	Шпатлевка НЦ-008 серая
Краска воднодисперсионная белая на поливинилацетатной дисперсии для внутренних работ	Краска ВД-ВА-27 белая

Вся необходимая для потребителя лакокрасочного материала информация приводится на этикетке, где даны полное наименование материала с указанием ГОСТа или ТУ, его назначение, способ применения, меры предосторожности, завод-изготовитель, дата выпуска и номер партии.

## 2.0 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОЦЕССАХ КОРРОЗИИ, СТАРЕНИЯ И БИОПОВРЕЖДЕНИЙ И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ.

Повреждения в процессе эксплуатации и хранения изделий и конструкций под действием внешней среды в зависимости от вида материала классифицируются как процессы коррозии (металлы), старение (полимеры– пластмассы, эластомеры и волокна) и биоповреждение (все материалы).

### 2.1. Коррозия. Основные понятия и терминология. Влияющие факторы

В системе международной стандартизации (ИСО) коррозия металлов определена как физико-химическое взаимодействие между металлом и средой, в результате которого изменяются свойства металла и часто происходит ухудшение функциональных характеристик металла, среды или включающей их технической системы.

Процесс коррозии представляют как коррозионную систему, состоящую из металла и коррозионной среды. Последняя содержит одно или несколько веществ, вступающих в реакцию с металлом. Коррозионная среда может быть жидкой, газообразной и твердой. Газообразная среда, окисляющая металл, называется окислительной газовой средой.

Изменение в любой части коррозионной системы, вызванное коррозией, называется **коррозионным эффектом**. Коррозионный эффект, ухудшающий функциональные характеристики металла, покрытия, среды или включающих их технических систем, расценивают как эффект повреждения или как коррозионную порчу.

Объекты воздействия коррозии-металлы, сплавы, металлопокрытия, металлоконструкции, машины, оборудование и сооружения.

При коррозии образуются новые вещества, включающие окислы и соли корродирующего металла, называемые **продуктами коррозии**. Видимые продукты атмосферной коррозии, состоящие в основном из гидратированных оксидов железа, называют *ржавчиной*, продукты газовой коррозии–*окалиной*.

Количество металла, превращенного в продукты коррозии за определенное время, относят к **коррозионным потерям**.

Коррозионные потери единицы поверхности металла в единицу времени характеризуют **скорость коррозии**.

Эффект повреждений, связанный с потерями механической прочности металла, определяют термином–**коррозионное разрушение**, глубину его в единицу времени–**скоростью проникновения**

## коррозии.

Важнейшее понятие—**коррозионная стойкость** металла, характеризующая способность металла сопротивляться коррозионному воздействию среды. Коррозионную стойкость определяют качественно и количественно—скоростью коррозии в данных условиях, группой или баллом стойкости по принятой шкале.

Факторы, влияющие на скорость, вид и распределение коррозии и связанные с природой металла (состав, структура, внутренние напряжения, состояние поверхности), называют **внутренними факторами коррозии**.

**Таблица 2.1. Факторы коррозии**

Группа	Название факторов	
По состоянию металла	Термодинамическая устойчивость металла	Гетерогенность (неоднородность) поверхности
	Положение металла в периодической системе	Шероховатость поверхности
	Соотношение компонентов в сплаве	Внутренние напряжения
	Структура металла	
По конструктивному исполнению изделия	Контакт разнородных металлов	Общая компоновка, размещение элементов
	Контакт металла и полимера	Концентрация напряжений
	Характер соединения элементов конструкции	Доступность восстановления покрытий
	Слитность сечения, обтекаемость форм и т. п.	Возможность дополнительной защиты
Технологические	Химический состав металла	Технологич. особенности защитных покрытий-
	Химический состав сплава	Особенности дополнительной обработки
	В состоянии поставки	Технологические особенности соединения
	Технологические особенности полуфабрикатов	Технологические особенности обработки
Эксплуатационные	Продолжительность эксплуатации	Давление сред
	Температура и ее изменения	Солнечная радиация
	Толщина и равномерность водной среды	Движение сред
	рН раствора	Внешние нагрузки
	Характер загрязнения	Характер контакта с агрессивной средой
	Наличие стимуляторов (ингибиторов) коррозии	Воздухообмен

Факторы, влияющие на те же параметры коррозии, но связанные с составом коррозионной среды и условиями процесса (температура, влажность, обмен среды, давление и т. п.) называют **внешними факторами коррозии**.

### 2.2. Общая характеристика проблемы коррозии

Продлить сроки эксплуатации различных металлоконструкций до их морального износа—основная цель решения многовековой проблемы коррозии металлов.

Металлофонд нашей планеты в виде машин, оборудования и сооружений составляет шесть миллиардов тонн. Это лишь 30 % от произведенного за три тысячелетия металла. Остальной металл исчез из обращения, причем основной причиной были процессы коррозии. Человечество непрерывно ведет борьбу за сохранение металлоконструкций. Ущерб, в результате отказов техники, аварий и катастроф несравним с ущербом, связанным с прямыми потерями металла от коррозии. В

значительной степени это относится к сложным конструкциям машин и оборудования. Трудность предотвращения коррозии в том, что разрушение металлов под влиянием факторов среды—это естественный термодинамически выгодный процесс. Проблему коррозии металлов по количеству факторов, которые нужно принимать во внимание, относят к глобальным. Для разных видов коррозии число учитываемых факторов и их значимость могут изменяться. Так как процессы коррозии, связанные с влиянием факторов среды, необратимы и часто приводят к отказам техники, их необходимо обнаруживать на ранних стадиях, классифицировать, давать количественную оценку эффекта повреждения и прогноз опасности развития в случае непринятия мер по усилению защиты. Только установление причин коррозионного процесса позволяет правильно выбрать метод совершенствования защиты.

Факторы коррозии обычно подразделяются в соответствии с табл. 2.1

### **2.3. Классификация процессов коррозии**

Классифицировать коррозию можно по механизму, условиям протекания процесса и характеру разрушения (рис. 2.1). Кроме этого, коррозию можно рассматривать с учетом специфики использования машин, оборудования и сооружений.

По механизму протекания коррозионные процессы подразделяются: электрохимическую, химическую и механическую коррозию. К электрохимической коррозии относят процесс взаимодействия металла с коррозионной средой, при котором ионизация атомов металла и восстановление окислительных агентов среды протекают не в одном акте и зависят от электронного потенциала (наличие проводников второго рода). К химической коррозии относят процесс, в котором окисление металла и восстановление среды представляют единый акт (отсутствие проводников второго рода).

В зависимости от упомянутых выше условий протекания процесса и характера разрушения металла наиболее распространенными являются следующие виды коррозии в естественных условиях (природных средах):

1. Атмосферная коррозия характеризует процесс в условиях влажной воздушной среды. Ее можно разделить следующим образом: на открытом воздухе, с возможностью попадания на поверхность машин осадков или с защитой от них в условиях ограниченного доступа воздуха и в замкнутом воздушном пространстве.

2. Подземная коррозия—разрушение металла в почвах и грунтах. Разновидность этой коррозии—электрохимическая коррозия под воздействием блуждающих токов. Последние возникают в грунте вблизи источников электрического тока (систем передачи электроэнергии, транспортных электрифицированных путей и т. д.).

3. Подводная коррозия—разрушение металлоконструкций, погруженных в воду. По условиям эксплуатации металлоконструкций этот вид подразделяют на коррозию при полном погружении, неполном или переменном. При неполном погружении может быть рассмотрен процесс коррозии по ватерлинии. Водные среды могут отличаться коррозионной активностью в зависимости от природы растворенных в них веществ (морская, речная вода, кислотные и щелочные растворы химической промышленности и т. п.). Подводную коррозию можно рассматривать как частный, но наиболее распространенный вид жидкостной коррозии (см. рис. 2.1), т.к. возможны процессы коррозии и оборудования в неводных жидких средах, которые подразделяют на неэлектропроводящие и электропроводящие. Такие среды специфичны для химической, нефтехимической и других отраслей промышленности.

4. Биоповреждение—особый вид разрушения материалов, конструкций, техники, связанный с воздействием биоорганизмов (бактерий, грибов, насекомых, грызунов др.).

Сплошная коррозия охватывает всю поверхность металла, при этом она может быть равномерной или неравномерной.

Отдельно рассмотрим группы локальных видов коррозии с характерными особенностями развития по месту и во времени.

Местная коррозия происходит с разрушением отдельных участков поверхности металлов; точечная (питтинг) коррозия, коррозия пятнами и сквозная коррозия — разновидности местной коррозии.

Подповерхностная коррозия начинается с поверхности, но развивается преимущественно под ней таким образом, что продукты коррозии сосредоточены внутри металла; ее разновидность—*послойная коррозия*, распространяющаяся преимущественно в направлении пластической деформации металла.

*Структурная* коррозия связана со структурной неоднородностью металла; ее разновидность—*межкристаллитная коррозия*, распространяющаяся по границам кристаллитов (зерен) металла.

*Ножевая* коррозия—локализованное разрушение металла в зоне сплавления сварных соединений в жидких средах с высокой коррозионной активностью.

*Избирательная* коррозия характеризуется разрушением одной структурной составляющей или одного компонента металла в высокоактивных средах; графитизация чугуна (растворение ферритных или перлитных составляющих) и обесцинкование (растворение цинковой составляющей) латуней—разновидности этого вида коррозии.

*Щелевая* коррозия—усиление процесса разрушения металла в зазорах между двумя металлами или при неплотном контакте металла с коррозионно-инертным материалом.

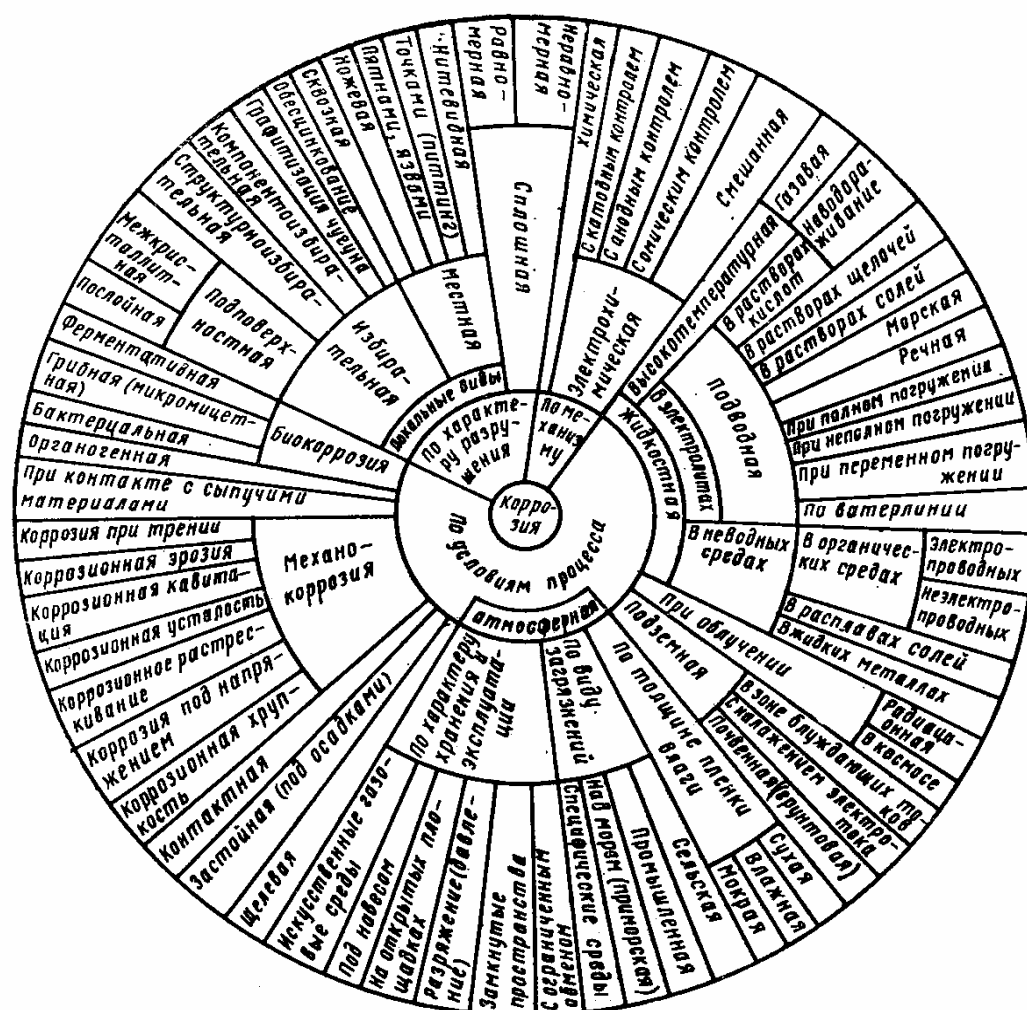


Рис. 2.1. Классификация процессов коррозии

*Фреттинг-коррозия*—разрушение при колебательном перемещении двух поверхностей относительно друг друга в условиях воздействия коррозионной среды;

*Коррозионная кавитация*—разрушение при ударном воздействии среды, *коррозионная эрозия*—при истирающем.

*Контактная* коррозия—разрушение одного из двух металлов, находящихся в контакте и имеющих разные потенциалы в данном электролите.

В особую группу следует выделить виды коррозии в условиях воздействия механических напряжений (механическая коррозия). Эта группа включает:

- собственно коррозию под напряжением, характеризуемую разрушением металла при одновременном воздействии коррозионной среды и постоянных или переменных механических напряжений;
- коррозионное растрескивание—при одновременном воздействии коррозионной среды и внешних или внутренних механических напряжений растяжения с образованием транскристаллитных трещин.

#### **2.4. Методы исследования коррозии металлов**

О степени развитии коррозионных процессов при эксплуатации техники можно оценивать следующим образом:

- Визуально выполняя непосредственные измерения коррозионных эффектов (глубины, площади повреждения, массы продуктов коррозии и т. п.);
- фиксируя изменения в результате коррозии некоторых характеристик металла (механической прочности, электропроводности и т. п.)
- осуществляя дистанционно-периодические проверки эксплуатационных факторов (температурно-влажностного режима, концентрации загрязнений в воздухе и т. п.) и работоспособности узлов и агрегатов (приборов) машин.

При эксплуатации машин применяют визуальный метод, он позволяет установить изменение микрогеометрии поверхности металла и защитного покрытия, адгезию последнего (вздутия, растрескивание, отслаивание), вид коррозионного разрушения. Его используют для оценки сплошной коррозии и некоторых видов местной коррозии: пятнами, точечной и др. Местную коррозию оценивают по глубине поражений и занимаемой ими площади поверхности. Обычно для визуальной оценки коррозионного эффекта используют десятибалльную шкалу коррозионной стойкости или группы стойкости материалов (пять групп). Элементы конструкции, не подвергающиеся коррозии в данных условиях эксплуатации, относят к нулевой группе (совершенно стойкие) и оценивают в 0 баллов. При интенсивном протекании коррозионных процессов разрушения металлов относят к пятой группе (совершенно нестойкие) и оценивают в 10 баллов.

О начальных стадиях общей коррозии блестящих металлических поверхностей можно судить по изменению коэффициента отражения света, измеряя величину фототока с помощью фотоэлектрических блескомеров.

Металлографические методы позволяют обнаруживать начальные стадии структурной коррозии. Их применение возможно в условиях эксплуатации металлоконструкций без отбора образцов.

Химические и электрохимические методы позволяют идентифицировать состав металла элементов конструкции и продуктов коррозии, определить кислотность среды, оценить качество покрытий, выявить анодные и катодные зоны в условиях неравномерной и местной коррозии металлов, гетерогенные включения в металле, выходящие на его поверхность, используя капельный способ с применением соответствующего раствора или наложением влажной индикаторной бумаги.

Методы механических испытаний состоят в сравнении механических свойств металла до эксплуатации и после коррозии. Иногда баки, трубопроводы и т. п. испытывают на прочность воздухом или водой. При таких испытаниях фиксируют предельные значения давления рабочего тела (воздуха, жидкости), по которым рассчитывают усилия разрушения конструкции для сравнения со стандартными.

При исследовании коррозии условия эксплуатации можно моделировать на образцах металлов с учетом значимых факторов (лабораторные испытания), деталях и узлах на коррозионно-климатических станциях или микологических площадках и на опытных образцах техники (испытания в природных условиях).

Испытания могут быть длительными и ускоренными, а иногда применяют экспресс-методы.

Методы ускоренных испытаний должны учитывать условия эксплуатации, в частности, основные значимые факторы. Ускорения коррозионного процесса при этом нельзя достичь за счет изменения его механизма, например, введением более агрессивного компонента другой природы. Режим испытания необходимо подобрать таким образом, чтобы обеспечивалась высокая скорость коррозии в течение всего периода испытаний.

Ускорение процесса атмосферной коррозии может быть достигнуто созданием условий периодической конденсации влаги на поверхности изделий, повышением концентрации коррозионного компонента. Ускорение процесса микробиологической коррозии может быть достигнуто применением температурного (влажностного) режима, питательной среды и штаммов микроорганизмов, вызывающих при эксплуатации наиболее интенсивные разрушения.

Своевременное обнаружение коррозии металлов, находящихся в контакте с агрессивной средой, в частности определение склонности металла к межкристаллитной коррозии (МКК) и выявление ее начальных стадий, имеет большое значение для безаварийной эксплуатации оборудования, например, в химической промышленности. Перспективен экспресс-метод коррозионного испытания сталей типа 12Х18Н9Т на склонность к МКК кипячением образцов в 65 %-ной азотной кислоте. Склонность к МКК оценивают аналитическим путем (фотоколориметрическим или спектрофотоколориметрическим анализом раствора). Если отношение перешедших в раствор ионов трехвалентного железа к ионам шестивалентного хрома составляет 1:4,5 сталь не склонна к МКК; если это отношение 1:(4,5÷20) –склонна или имеет начальную стадию разрушения по механизму МКК, не определяемую визуально. Основное преимущество метода — возможность использования для анализа металлической стружки, взятой с поверхности конструкций вблизи ожидаемых зон разрушения металла.

Используются следующие критерии оценки коррозионных эффектов:

**очаговый показатель коррозии  $k_{\text{П}}$** —число коррозионных очагов, возникающих на единице металлической поверхности за определенный промежуток времени в данных условиях эксплуатации;

**глубинный показатель коррозии  $k_{\text{Р}}$** —характеризует среднюю или максимальную глубину коррозионного разрушения металла за определенное время эксплуатации изделий, например, мм/год; для измерения питтингов может быть использован индикатор повышенной чувствительности;

**показатель склонности металла к коррозии  $k_{\text{С}}$** —срок эксплуатации (испытания) до начала коррозионного процесса, ч (сут). Начало коррозионного процесса определяют состоянием поверхности металла, при котором коррозионное поражение достигло 1 % площади;

**показатель изменения массы металла  $k_{\text{Т}}$** —уменьшение или увеличение массы металла во время эксплуатации (испытания) за счет потерь или роста продуктов коррозии, г/(м<sup>2</sup> ч);

**механический показатель коррозии**, например прочностной, характеризующий изменение предела прочности металла за время эксплуатации, %;

**электрический показатель коррозии**, например токовый, соответствующий скорости коррозионного процесса мА/см<sup>2</sup>, или показатель изменения электросопротивления поверхности металла за время эксплуатации, %.

## 2.5. Атмосферная коррозия

Процесс коррозионного разрушения металла в условиях воздействия факторов окружающей воздушной среды принято называть атмосферной коррозией. Это наиболее распространенный вид коррозии, наносящий существенный ущерб промышленности.

В процессе эксплуатации машин, оборудования и сооружений неизбежно увлажнение и загрязнение их поверхности, что является первопричиной возникновения и развития атмосферной коррозии. Образование пленочной влаги на металлоконструкции зависит от следующих факторов; относительной влажности воздуха, температуры поверхности металла, атмосферных осадков (при эксплуатации на открытом воздухе), наличия в атмосфере гигроскопичных продуктов, состояния поверхности и пористости материала (металл, конверсионное покрытие, бетон и др.), типа загрязняющих веществ в атмосфере.

В воздухе содержится водяной пар, количество которого (г/м<sup>3</sup>) называют абсолютной влажностью. Влажностное состояние воздуха определяется такими параметрами, как давление водяного пара  $P$  и относительная влажность  $\varphi$ . Величина  $P$  может изменяться от нуля до максимального парциального давления  $\varepsilon$ , соответствующего полному насыщению воздуха. Абсолютная влажность увеличивается с повышением температуры (табл. 2.2)

Каждому значению температуры при одинаковом атмосферном давлении соответствует определенное максимальное парциальное давление  $P$ . Эту температуру принято называть точкой росы ( $t_p$ ).

Относительная влажность  $\varphi$ , %, характеризует степень насыщения воздуха водяным паром, т. е.  $\varphi = (P/\varepsilon) \cdot 100$ , где  $P$  – парциальное давление водяного пара, Па;  $\varepsilon$  – максимальное значение парциального давления, Па.

Таблица 2.2 Зависимость абсолютной влажности и максимального парциального давления от температуры

Температура, С	Абсолютная влажность, г/м <sup>3</sup>	Максимальное парциальное давление, Па
-10	2	259
+20	17	2333
+40	51	7357

Чем выше относительная влажность, тем слабее энергия связи влаги с воздухом. Когда  $P$  приближается к  $\varepsilon$ , образуются многочисленные микрокапли, которые постепенно укрупняются и осаждаются на поверхности конструкций в виде конденсата. Причиной его образования может быть быстрое охлаждение воздуха или перепад температуры. Еще одна причина конденсации влаги – содержание в воздухе гигроскопической пыли или аэрозолей, снижающих  $\varepsilon$ . В этом случае принимают значение условной относительной влажности  $\varphi_y$ , %

$$\varphi_y = (\varphi_v/\varphi_p) 100,$$

где  $\varphi_v$  – влажность воздуха без учета гигроскопических продуктов, %,  $\varphi_p$  – равновесная относительная влажность с учетом гигроскопической пыли или аэрозолей в воздухе, %.

При любой влажности часть паров воды из воздуха переходит на поверхность конструкции за счет сорбции. В сухом воздухе адсорбционный слой влаги соизмерим с толщиной молекулярного слоя воды. По мере повышения относительной влажности толщина слоя влаги на поверхности увеличивается и может достигать 1 мкм и более.

Атмосферную коррозию, протекающую под молекулярным слоем влаги (до 10 нм), называют «сухой» атмосферной коррозией. Эта разновидность коррозии характеризуется поверхностным окислением металла по химическому механизму взаимодействия какого-либо реагента в газообразном виде, содержащегося в атмосфере. Например, кислород воздуха, оксиды азота и серы или сероводород, как примеси в воздухе, взаимодействуют с поверхностью металла (потускнение никелевых, цинковых, оловянных покрытий, латунных изделий, почернение медных, серебряных покрытий).

Окисные пленки в результате «сухой» атмосферной коррозии образуются на металлах в течение первых 2÷3 ч. В дальнейшем утолщение их практически прекращается. Толщина слоя окислов на стальных и омедненных поверхностях составляет 3÷4 нм, на поверхности алюминиевых сплавов, коррозионно-стойких сталей и серебряных покрытий – 1÷2 нм. Процессы «сухой» атмосферной коррозии не оказывают существенного влияния на сохранность элементов конструкций, не снижают их работоспособности даже при содержании в воздухе небольших количеств агрессивных веществ. Например, полное почернение поверхности серебряных контактов приборов и аппаратуры вызывает незначительное увеличение переходного сопротивления (до 3 %).

Относительная влажность при этих условиях составляет 30÷50%. Дальнейшее повышение влажности способствует увеличению толщины пленки воды. Адсорбционные процессы от моно- и полимолекулярных взаимодействий переходят к капиллярной конденсации, вода проявляет свойства электролита, что имеет решающее значение для процессов коррозии.

В таких условиях начинается «влажная» коррозия оптимальный размер пор для капиллярной конденсации 10÷1000 нм. Ее могут также стимулировать шероховатость поверхности и загрязнения в виде твердых частиц. Интенсивная капиллярная конденсация, как и развитие коррозионных процессов, происходит при относительной влажности более 70÷75%. Эти значения влажности считают критическими  $\varphi_k$ . Экспериментально установленные значения  $\varphi_k$  для различных металлов в большинстве случаев находятся между 50÷70%. Атмосферная коррозия при значениях относительной влажности выше  $\varphi_k$  протекает в основном по электрохимическому механизму.

В отсутствии загрязнений агрессивными веществами воздуха возникновение адсорбционных слоев влаги на поверхности металлов не приводит к заметным коррозионным эффектам.

Длительная эксплуатация машин и сооружений в условиях относительной влажности 70÷98 %, и загрязнения атмосферы агрессивными веществами может привести к значительным коррозионным повреждениям. Атмосферную коррозию, протекающую при  $\phi$  выше 98 % в условиях капельной конденсации или прямого попадания атмосферных осадков на поверхность металла с образованием фазовых пленок влаги, называют «**мокрой**» **атмосферной коррозией**. По своему механизму процесс подобен электрохимической коррозии при полном погружении металла в электролит и связан с функционированием локальных микроэлементов.

При эксплуатации машин и сооружений практически трудно разграничить указанные разновидности атмосферной коррозии, особенно если увлажнение поверхности изменяется. На изменение механизма процесса атмосферной коррозии может оказать влияние как продукты коррозии так и загрязнения. Последние значительно повышают коррозионную активность пленок влаги на металле.

Загрязнения подразделяют на две группы: **органического и неорганического** происхождения. Первые попадают на поверхность извне, вторые могут попадать извне и возникать в результате коррозии металла. Водорастворимые загрязнения технологического характера увеличивают электропроводность пленок влаги. Малорастворимые, рыхлые, несплошные продукты коррозии (окалина) создают условия работы макроэлементов. В обоих случаях коррозионные процессы усиливаются.

В промышленных районах воздух загрязнен разнообразными химическими соединениями. Особую опасность представляет серный и сернистый ангидриды, хлор, хлористый водород, окислы азота, фтористые соединения и аэрозоли.

Весьма активен серный ангидрид, образующий с парами воды в атмосфере аэрозоль серной кислоты. Сероводород под действием кислорода окисляется в сернистый ангидрид. Двоокись азота с парами воды образует азотную и азотистую кислоты. Хлор при воздействии влаги воздуха образует хлорную воду, стимулирующую процессы коррозии, а хлористый водород — разбавленную соляную кислоту, интенсифицирующую коррозионные разрушения (от равномерной коррозии углеродистых сталей до питтинга — высоколегированных сталей).

Агрессивные газы оказывают существенное влияние на химический состав атмосферных осадков, так как эффект их поглощения и растворения весьма высок. Например, 1 л дождя при падении с высоты 1 км омывает более 500 м<sup>3</sup> воздуха. Снег также адсорбирует большинство газов и твердых продуктов, сбрасываемых в атмосферу предприятиями.

Предложено среды, в том числе атмосферные, по степени агрессивности подразделять на четыре группы (табл. 2.2). Коррозионное воздействие на металлоконструкцию оказывают не только влага и газы, содержащиеся в атмосфере. В ней постоянно находятся частицы твердых веществ, аэрозоли солей. Их источниками служат разрушающиеся горные породы, солончаковые почвы, приморские зоны, имеющие повышенное содержание хлоридно-сульфатных натриевых солей. К агрессивным относят воздушные массы сухих степей и полупустынь, несущие карбонатно-сульфатные хлоридные и силикатные натриевые соли.

Таблица 2.2. -Классификация агрессивности сред

Агрессивность среды	Углеродистая сталь			Бетон	
	Скорость коррозии, мм/год	Стойкость, баллы	Снижение прочности, %	Коррозия по внешним признакам	Снижение прочности, %
Неагрессивная	До 0,01	1÷ 3	0	—	0
Слабая	0,01÷0,05	4÷ 5	До 5	Слабое разрушение поверхности	До 5
Средняя	0,05÷0,5	6	До 10	Повреждения углов	До 10
Сильная	Более 30,5	7	15	Трещины, обнажение заполнителей	Более 20

Воздушные среды лесостепной и степной зон, содержащие гидрокарбонатно-сульфатные кальциевые соли, менее агрессивны. Атмосферу лесных зон, содержащую такие же соли в низкой концентрации, относят к неагрессивной.

Твердые частицы при попадании в воздух длительное время находятся во взвешенном



состоянии. При скорости падения частиц  $1 \div 1,25$  см/с они могут переноситься воздушными массами на расстояние до 1 тыс. км. Мелкие частицы, в том числе коррозионно–неактивные, например, частицы кремнезема, могут стать центрами конденсации влаги из воздуха на поверхности металла. Их размер составляет  $5 \cdot 10^{-8} \div 10^{-2}$  см. Более крупные–стимуляторами коррозии. Кроме этого, частицы почв несут микроорганизмы и органические вещества, которые инициируют процессы атмосферной коррозии, а при достаточном накоплении–биокоррозии.

На высоте 1 тыс. м над крупными предприятиями количество центров конденсации влаги может составлять несколько миллионов в  $1 \text{ м}^3$ . В сельской местности — около 10 тысяч. Чем больше в  $1 \text{ м}^3$  твердых частиц, тем ниже значение  $\varphi_k$ . В промышленной атмосфере даже при невысоких значениях  $\varphi_k$  в воздухе могут образовываться капли влаги.

Твердые частицы, находящиеся в воздухе, постепенно оседают на горизонтальные поверхности и под действием сил адгезии (взаимодействия с твердыми поверхностями) и аутогезии (взаимодействия между собой) удерживаются вертикальными поверхностями. Адгезия твердых частиц уменьшается с ростом их размера:

Адгезия зависит также от шероховатости поверхности, скорости переноса, относительной влажности воздуха. При  $\varphi = 65 \div 95\%$  наблюдается наибольшее адгезионное взаимодействие, так как при этих значениях  $\varphi$  капиллярные силы преобладают над другими параметрами.

Твердые частицы–это «ядра» конденсации, стимулирующие на поверхности образование капиллярной влаги. Этот процесс способствует возрастанию сил адгезии и росту количества оседающих частиц. Наибольшую коррозионную опасность представляют частицы, обладающие высокой гигроскопичностью, при растворении которых образуются агрессивные жидкие среды (NaCl и др.). Для правильной оценки коррозионной ситуации и прогнозирования процессов необходимо учитывать состав воздуха в приземных слоях атмосферы, а также эксплуатационные особенности машин и сооружений, размещаемых в различных районах страны.

Конструкции в открытой атмосфере подвержены воздействию осадков, агрессивных газов и аэрозолей. Скорость коррозии зависит от продолжительности увлажнения поверхности и состава агрессивных сред. Коррозионную агрессивность атмосферы оценивают в зависимости от продолжительности общего увлажнения (от 500 до 4800 г/год). Общую продолжительность нахождения пленки влаги на поверхности конструкции определяют как суммарную продолжительность выпадения дождя и росы, воздействия тумана и оттепелей в зимний период, а также длительность высыхания поверхности.

Если толщина пленок влаги достигает 30 мкм и более, то длительность высыхания возрастает и в дальнейшем процесс коррозии определяется скоростью испарения влаги и частотой повторного смачивания. Скорость испарения в свою очередь определяется значением  $\varphi$ , температурой воздуха и интенсивностью воздухообмена. Характерная особенность атмосферной коррозии–ее зависимость от сезонных колебаний метеорологических параметров. Интенсификация процесса наблюдается в весенне–летний и летне–осенний периоды, что совпадает с повышенными значениями  $\varphi$  и количества атмосферных осадков.

В средней полосе РФ наибольшее увлажнение фазовыми пленками происходит при температуре  $0 \div 5^\circ\text{C}$ . Если для металла продолжительность смачивания фазовыми пленками–основной фактор развития атмосферной коррозии, то для капиллярно–пористых материалов (бетон, асбоцемент и пр.) основной фактор–многократное замораживание и оттаивание, т. е. количество циклов перехода температуры через  $0^\circ\text{C}$ .

Квазижидкие пленки воды толщиной несколько нанометров сохраняются на поверхности металлов при низких температурах воздуха от  $-10$  до  $-20^\circ\text{C}$ .

Сохранение высокой подвижности молекул воды в адсорбированном состоянии способствует течению коррозионных процессов с ощутимой скоростью в области отрицательных температур.

Отдельные виды загрязнений оказывают существенное влияние на время увлажнения поверхности. Механические загрязнения и особенно мицелии грибов способствуют сохранению водных пленок на поверхности конструкции в широком диапазоне температур.

Для объективного и достоверного суждения о процессах коррозии необходимо знание про-

должительности, степени увлажнения поверхности и характера загрязнений последней. Эти факторы, а также pH водных пленок, воздухообмен и общая продолжительность эксплуатации объекта оказываются решающими при развитии атмосферной коррозии.

*Таблица 2.3.- Влияние сернистого газа и хлоридов на скорость атмосферной коррозии различных металлов*

Загрязняющее вещество	Возрастание (а) скорости коррозии металлов, раз					
	Ст3	Ц1	М2	Кд1	Ма2	АД
SO <sub>2</sub> ,	75	120	80	70	70	—
Cl	—	1,2	—	1,5	—	25

а-показывает во сколько раз возрастает скорость коррозии металла при введении в условно чистую атмосферу 1 мг/куб.м. сернистого газа или при осаждении на поверхность металла 1 мг/кв. м. хлоридов в сутки.

Влияние климатических факторов на надежность и долговечность характеризуется термином–техническая жесткость климата и погоды, под которой понимается интенсивность воздействия комплекса климатических факторов на эксплуатационные свойства материалов и надежность машин, оборудования и сооружений.

### **2.5.1. Особенности коррозии и защиты в замкнутом пространстве и с ограниченным обменом воздуха**

Развитие процессов коррозии зависит от условий эксплуатации и хранения техники.

Изоляция изделий от контакта с почвой на примере хранения сельскохозяйственной техники позволяет значительно снизить процессы равномерной и точечной (питтинг) коррозии стали.

Глубина питтингов стали Ст3, возникающих на незащищенных изделиях, хранящихся на поверхности почвы, составляет–0,5 мм/год. При изоляции от контакта с почвой эта величина снижается в 5 раз, а при хранении в неотапливаемом помещении (в условиях устранения влияния атмосферных осадков) ее удастся снизить еще на порядок до значений, которые практически не влияют на долговечность изделий.

Ограничение атмосферных влияний (установление под навесами и в закрытых помещениях) в сочетании с мероприятиями по консервации при хранении (нанесение временных покрытий) позволит устранить процессы снижения усталостной прочности и изнашивание (до исходных значений, характерных для данного металла).

*Таблица 2.4-Влияние атмосферной коррозии на изнашивание при хранении изделий в течение 8 мес.*

Способ хранения	Скорость изнашивания изделий из стали, мг/дм <sup>2</sup> *мин	
	Ст3	сталь 45
В закрытом помещении	5,2	4,2
На открытой площадке	10,4	8,2
На поверхности почвы	10,4	8,5
До хранения (нулевая точка)	4,1	3,6

В отапливаемых помещениях тепловлажностный режим (ТВР) зависит от особенностей производственного технологического процесса. Влияние климатических факторов наружной атмосферы сказывается в основном на ограждающих конструкциях.

В отапливаемых помещениях характерны устойчивые значения t и ω в зимнее время года благодаря мероприятиям по герметизации и постоянной работе систем отопления.

При наличии внутри помещения источников влаги (химические и электрохимические производства) относительная влажность может повышаться до 75÷80% (мокрый режим). Этому способствует также нарушение технологических процессов, дефекты оборудования, недостаточная эффективность теплоизоляции ограждающих конструкций и др.

Повышенная влажность в помещении в сочетании с агрессивными средами производств представляет большую коррозионную опасность. Наиболее эффективны в этом случае мероприятия по снижению влажности. Например, вентиляция, осушка воздуха, изоляция «зеркала испарений» агрессивных растворов, а не совершенствование методов и средств защиты металлоконструкций.

Повышение содержания агрессивных загрязнений в воздухе помещений может произойти в результате испарения различных растворов из-за неплотности оборудования даже в условиях его работы под разрежением. Особую опасность при этом представляют легколетучие низкокипящие вещества. Приточно-вытяжной вентиляцией можно достигнуть снижения концентрации таких веществ до норм ПДК.

В замкнутом объеме без источников водяного пара при понижении температуры абсолютная влажность остается постоянной, а относительная влажность увеличивается до 100 % до момента, при котором температура воздуха станет равной температуре точки росы. При дальнейшем понижении температуры вследствие конденсации влаги абсолютная влажность уменьшается на величину, соответствующую количеству сконденсированной воды. Относительная влажность в этом случае остается постоянной и равной 100%. По этой причине при использовании герметичных корпусов с постоянным внутренним объемом необходимо учитывать возможность выпадения росы при понижении температуры воздуха. Следовательно, герметизация как таковая не предохраняет от возникновения влаги внутри приборов.

Загрязнение воздуха органическими соединениями при эксплуатации элементов конструкций машин в условиях замкнутого пространства может происходить в результате выделения ингредиентов при деструкции полимерных материалов, таких как муравьиная кислота, формальдегид, аммиак, уксусная кислота, хлористый водород и др.

Замкнутые пространства имеются практически в любых конструкциях - приборные отсеки, коробка энергопроводов, узлы строительных сооружений, наконец, тара и упаковка при хранении и транспортировке изделий и запасных частей.

Идеальная упаковка предполагает полное исключение доступа паров воды и агрессивных газов из окружающего воздуха, а также предотвращение уноса ингибитора из замкнутого пространства.

#### **2.6. Методы защиты от атмосферной коррозии.**

Наибольшее распространение для защиты от атмосферной коррозии получили следующие методы защиты:

##### **Из мероприятий - воздействием на металл (конструкцию);**

а) нанесение покрытий (металлических, конверсионных, комбинированных), широко используемых и перспективных;

б) легирование металлов—это метод повышения коррозионной стойкости не только в отношении атмосферной коррозии

##### **из мероприятий воздействием на среду:**

а) снижение относительной влажности путем повышения температуры воздуха или поглощения содержащейся в нем влаги. Понижение относительной влажности, как показано выше, до 50% во многих случаях достаточно для предотвращения процессов атмосферной коррозии. Если атмосфера загрязнена гигроскопической пылью, то снижение относительной влажности должно быть больше. Этот метод эффективен за исключением случаев, когда коррозия вызывается агрессивными примесями в воздухе (кислыми или щелочными парами, летучими ингредиентами пластических материалов, древесины и т. п.).

б) использование парофазных (летучих) ингибиторов коррозии. Перечень таких средств приведен ниже. Кроме этого, следует отметить, что в настоящее время в качестве ингибиторов коррозии целесообразно применение веществ универсального действия (ингибирующих также процессы старения и биоповреждений);

в) применение дополнительной защиты с помощью различных консервационных составов, легко снимаемых покрытий, микровосковых составов также увеличивает время эксплуатации конструкций в атмосферных условиях и относится к методам комплексной защиты.

Вполне самостоятельную область защиты от атмосферной коррозии представляют мероприятия по рациональному конструированию.

#### **2.7. Коррозия в почвах и грунтах**

**Почва** представляет собой наружный слой горных пород, естественно формирующийся в результате одновременно идущих процессов выветривания горных пород и почвообразования, обусловленного деятельностью микроорганизмов и растений. Мощность почвенного слоя составляет

примерно 2 м, в отдельных случаях—5÷7 м.

**Грунт**—это горные породы, расположенные ниже зоны жизнедеятельности большинства микроорганизмов и растений и не подвергаемые выветриванию. Между почвой и грунтом нет четкой границы. Так как влажную почву и грунт, являющиеся гетерогенной капиллярно-пористой, а часто и коллоидной системой, можно считать проводниками второго рода, т. е. электролитами, то процесс коррозии металла в почве и грунте можно рассматривать с позиций электрохимической теории. Почва и грунт являются ионными проводниками электрического тока даже при минимальной влажности, т. е. при наличии в почве только связанной воды.

Подземная электрохимическая коррозия—это разрушение металла вследствие его взаимодействия с коррозионной средой (раствором почвенного электролита), при котором ионизация атомов металла и восстановление окислительной компоненты коррозионной среды протекают не в одном акте и их скорости зависят от электродного потенциала. Электрохимическая коррозия сопровождается протеканием электрического тока.

Для подземных сооружений, проложенных непосредственно в почве или грунте, характерны следующие виды электрохимической коррозии.

**Подземная коррозия**—коррозия в почвах и грунтах, вызываемая электрохимическими микро- и макропарами, возникающими на металле в местах соприкосновения его с коррозионной средой, играющей роль электролита. Коррозионные пары возникают при неоднородности металла сооружения, неоднородности структуры почвы или состава электролита, различии температуры, влажности и воздухопроницаемости почвы по трассе сооружения и т. д.

**Подземная биокоррозия** вызывается жизнедеятельностью микро-организмов. Обычно процесс завершается электрохимической коррозией.

**Электрокоррозия**—коррозия металлического подземного сооружения, вызванная проникновением на сооружение токов утечки с рельс электрифицированного транспорта или различных промышленных электроустановок и сооружений и, соответственно, имеющая две разновидности:

- **коррозия блуждающим током**—электрохимическая коррозия металла под воздействием блуждающего тока;
- **коррозия внешним током** происходит при протекании через металл и электролит электрического тока от постороннего источника.

В зависимости от других условий и вида коррозионного разрушения различают сплошную и местную коррозию, равномерную, неравномерную и контактную.

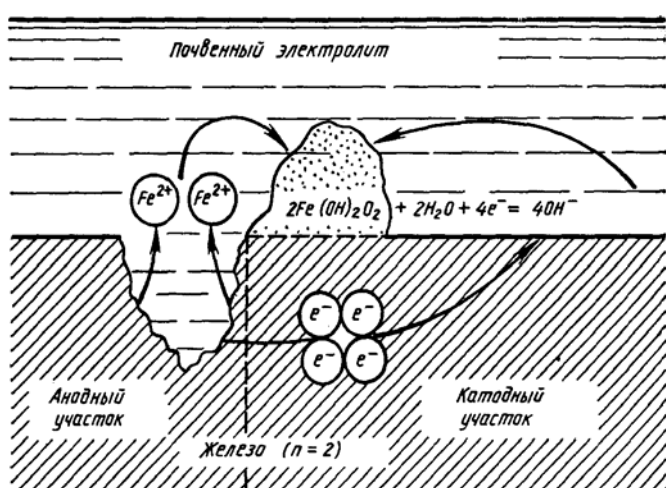


Рис. 2.2. Модель коррозионного микроэлемента

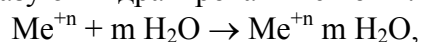
перемещаются по металлу от анодного участка к катодному, где участвуют в реакции восстановления.

Катодный процесс сопровождается ассимиляцией (поглощением) избыточных электронов деполаризаторами электролита (атомами, молекулами или ионами, которые могут восстанавливаться на катоде).

Взаимодействие почвенного электролита с металлом при любом виде электрохимической коррозии можно разделить на два процесса: анодный и катодный (рис. 2.2). Анодный процесс заключается в переходе металла анода в электролит в виде катионов с оставлением эквивалентного количества электронов в металле:



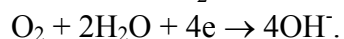
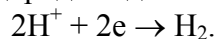
Катионы металла, переходя в электролит, образуют гидратированные ионы:



где  $m$ —количество молекул воды в гидратированном виде,  $n$ —валентность металла.

При этом освобожденные электроны

В основном при подземной коррозии деполяризация происходит за счет разряда ионов водорода (водородная деполяризация) или ионизации атомов кислорода (кислородная деполяризация):



Так как большинство почв и грунтов имеют нейтральную реакцию, то процесс коррозии подземных металлических сооружений наиболее часто протекает с кислородной деполяризацией.

Ионы  $\text{Fe}^{+n}$  и  $\text{OH}^-$  направляются друг к другу и образуют нерастворимый осадок  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ , который может разлагаться на окись железа и воду:  $\text{Fe}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$ .

Разделение общей реакции коррозии на два самостоятельных процесса (анодный и катодный) - следствие существования ионов в электролите и свободных электронов в металле. Между анодными и катодными участками протекает электрический ток коррозии, обусловленный в металле движением электронов от анода к катоду, а в электролите - движением ионов.

Анодные и катодные процессы в большинстве практических случаев происходят на различных участках, т. е. поверхность корродирующего металла состоит из некоторого числа микро- и макрокоррозионных пар и скорость коррозии зависит от числа таких пар и интенсивности их работы. Такой механизм коррозии называют гетерогенно-электрохимическим.

При гомогенно-электрохимическом механизме коррозии анодные и катодные процессы протекают на одном и том же участке, чередуясь по времени.

Важно отметить, что материальный эффект при любом механизме коррозии проявляется только на анодах; на катодных участках, где происходит процесс деполяризации, потерь металла не наблюдается.

По гомогенному механизму корродируют, как правило, чистые металлы. Наличие примесей и микроструктурная неоднородность стали, микроструктурная неоднородность прилегающего грунта или почвы, несплошность окисных слоев на стали приводят к возникновению микрокоррозионных элементов. Различный состав электролита и различные условия аэрации у отдельных участков поверхности металла, контакт разнородных металлов создают условия для возникновения макрокоррозионных элементов. Явно выраженные анодные и катодные зоны наблюдаются при наличии блуждающих токов. Поэтому подземную коррозию целесообразно оценивать по гетерогенно-электрохимическому механизму.

Общая скорость сопряженного коррозионного процесса, происходящего при одновременном протекании анодной и катодной реакций, определяется скоростью той реакции, которая протекает с наименьшей интенсивностью. Процесс, кинетика которого определяет скорость коррозии, называется контролирующим.

Катодный контроль наблюдается при коррозии металла в большинстве плотных и увлажненных почв, когда с меньшей скоростью протекает процесс деполяризации на катоде.

Анодный контроль характерен для сухих, рыхлых и хорошо аэрируемых почв, когда затруднен отвод положительных ионов металла от анодного участка поверхности сооружения.

Практика показывает, что чем отрицательнее потенциал металлического сооружения в земле, тем сильнее склонен он подвергаться коррозии. Однако величина стационарного потенциала стали в грунте при отсутствии блуждающих токов или токов катодной защиты не однозначный показатель коррозионной опасности для подземного сооружения.

Скорость коррозии металла в почве и грунте зависит от ряда свойств последних: структуры, пористости, влажности, минерализации грунтовых вод, концентрации водородных ионов (рН), воздухопроницаемости, удельного электрического сопротивления и температуры среды. Однозначной зависимости коррозионной активности почвенно-грунтовых систем от отдельных факторов не наблюдается.

Структура и пористость почв и грунтов определяют их **влагоемкость и водопроницаемость**.

**Влажность почвы** - это степень наполнения ее водой, равная отношению количества воды, находящейся в единице объема, к массе сухого твердого вещества в этом же объеме. Влажность почвы существенно влияет на коррозионный процесс. С увеличением влажности удельное электрическое сопротивление почвы снижается, что стимулирует протекание коррозионных процессов. Однако при очень высокой влажности воздухопроницаемость уменьшается, что тормозит

коррозионный процесс. Для каждого грунта и почвы существует определенный интервал влажности, соответствующий максимальной скорости коррозии, т. е. коррозионная активность различных почв и грунтов при одинаковой влажности может изменяться в широких пределах.

Солевой состав и значение рН почвенного электролита—также не однозначные показатели степени коррозионной активности почвы. Тем не менее наблюдается повышенная коррозионная активность по отношению к стали при наличии значительного количества ионов  $Cl$  (солончаковые почвы) и низкого значения рН (кислые, гумусовые и болотистые почвы). По величине рН различают почвы: кислые (рН = 0 ÷ 5), нейтральные (рН = 6 ÷ 8) и щелочные (рН = 9 ÷ 14). Минимальная агрессивность почвы для некоторых металлов отмечается при следующих значениях рН: железо—10 ÷ 14, свинец—7 ÷ 8, алюминий—6 ÷ 7.

Присутствие ионов  $Cl^-$  и  $SO_4^{2-}$  в почве затрудняет образование сплошных защитных пленок. Высокое содержание хлоридов почти всегда сопровождается интенсивной коррозией стали, влияние сульфатов меньше. Для алюминиевых конструкций также опасно присутствие в грунте растворимых хлористых солей, а для свинцовых оболочек кабелей опасно присутствие органических и азотистых веществ.

**Воздухопроницаемость (аэрируемость)** почвы взаимосвязана с ее влажностью и их изменение по глубине залегания подземного сооружения служит причиной образования пар дифференциальной аэрации — при недостатке притока кислорода образуется анод, при избытке притока кислорода — катод электрохимической пары.

**Температура** среды существенно влияет на интенсивность коррозионных процессов. При замерзании грунтовой влаги коррозионные процессы резко замедляются.

**Удельное электрическое сопротивление** почвы  $\rho$  (Ом м)—это сопротивление протеканию электрического тока в условном почвенном проводнике площадью поперечного сечения  $1 \text{ м}^2$  и длиной 1 м. Величина  $\rho$  — функция всех рассмотренных выше факторов и представляет один из наиболее характерных показателей коррозионной активности почв и грунтов по отношению к стали. В определенных границах существует прямая зависимость: чем меньше  $\rho$ , тем больше возможность коррозии. Эта зависимость позволяет приближенно оценить коррозионную активность почв. Однако наиболее достоверными следует считать показатели, учитывающие весь рассмотренный комплекс физико-механических и физико-химических факторов.

Коррозионная активность грунтов устанавливается по показателю, характеризующему наибольшую коррозионную активность.

Основные источники блуждающих токов в земле—это пути электрифицированного рельсового транспорта, работающего на постоянном или переменном токе промышленной частоты (рельсы железных дорог, трамвая, метрополитена), линии электропередачи по системе “провод—земля” (нулевой провод) и муфты, соединяющие кабеля.

При протекании тягового тока по рельсам вдоль них происходит падение напряжения и рельсы получают некоторый потенциал относительно земли, а несовершенная изоляция рельсов от земли вызывает утечку тока в окружающий грунт. Суммарный ток утечки зависит от параметров рельсового пути—чем меньше продольное и больше переходное сопротивление пути, тем меньше суммарный ток в земле.

Протекающие в земле блуждающие токи, встречая на своем пути металлические сооружения, проникают в них и текут по ним на некотором протяжении, создавая анодные и катодные зоны. Подземные сооружения, находящиеся под влиянием блуждающих токов, обладают, как правило, обратной полярностью по отношению к земле по сравнению с соответствующими участками рельсовой сети.

Как правило, интенсивность коррозии блуждающими токами намного больше, чем интенсивность почвенной коррозии. Электролитические процессы, вызываемые блуждающими токами, накладываются на процессы, обусловленные почвенной коррозией. Совпадение анодных зон коррозионных пар и блуждающих токов приводит к усилению коррозии. Потенциал сооружения зависит от соотношения интенсивностей почвенной коррозии и коррозии, вызываемой блуждающими токами, и взаимного расположения анодных и катодных зон этих двух процессов.

В устойчивой анодной зоне блуждающих токов интенсивность процесса коррозии не зависит от

содержания и величины pH реальных грунтов, а степень коррозионной опасности непосредственно определяется, в основном, поверхностной плотностью тока утечки. Сила тока, протекающего по сооружению, и величина потенциала его по отношению к близкой точке земли характеризуют опасность электрокоррозии лишь косвенно. Например, при большом положительном потенциале, но высоком сопротивлении изоляции плотность тока утечки будет невелика, в то время как при незначительном положительном потенциале по отношению к земле, но при малом переходном сопротивлении изоляции может возникнуть большая плотность тока утечки.

Сопротивление изоляции подземного сооружения—наиболее существенный фактор ограничения блуждающих токов, воздействующих на сооружение. По сравнению с плохо изолированным трубопроводом в хорошо изолированном трубопроводе ток уменьшается в сотни раз и более.

### **2.7.1. Методы защиты подземных сооружений**

Защиту подземных сооружений от подземной коррозии можно условно разделить на пассивную защиту—изоляцию сооружения от контакта с окружающим грунтом и ограничение влияния блуждающих токов и активную (электрохимическую)—создание защитного потенциала сооружения по отношению к окружающей среде.

Изоляция сооружения от контакта с окружающей средой осуществляется: выбором соответствующей конструкции защитного покрытия, рациональным выбором трасс прокладки подземных металлических сооружений; использованием специальных способов прокладки (каналы, блоки, туннели, коллекторы и т. д.).

Прокладка протяженных подземных металлических сооружений должна производиться по трассам с наименьшей степенью коррозионной опасности. Следует избегать участков с сильно агрессивными грунтами, свалок мусора и промышленных отходов, а также районов стока вод промышленных и коммунальных предприятий.

Ограничить влияние блуждающих токов можно путем такого воздействия на параметры системы электрифицированного транспорта, при котором ток утечки с рельсовой цепи был бы в пределах допустимого. Одновременно необходимо на защищенном сооружении создать такие условия, чтобы сила натекающего на него тока была минимальна.

Поэтому влияние блуждающих токов ограничивают с помощью мероприятий по снижению силы блуждающих токов непосредственно на их источниках и на подземных металлических сооружениях, подверженных действию этих блуждающих токов. С этой целью следует:

- относить трассу сооружения на расстояние свыше 500 м от полосы отвода железной дороги, электрифицированной на переменном токе;
- относить трассу сооружения на расстояние свыше 100 м от рельсового пути постоянного тока.
- При выборе трасс протяженных подземных сооружений необходимо сокращать до возможного минимума число пересечения с рельсами электрифицированного транспорта. Оптимальный угол пересечения 90°. Нежелательно использовать угол пересечения меньше, чем 75°.

**Активной (электрохимической)** называется защита металла от коррозии, осуществляемая принудительной анодной или катодной поляризацией.

При защите подземных металлических сооружений широкое распространение получила катодная защита—электрохимическая защита металла, осуществляемая принудительной или вынужденной катодной поляризацией, при которой сооружению сообщают такой отрицательный электрический потенциал, что окисление металла термодинамически затрудняется и скорость коррозии становится мала.

Катодную поляризацию осуществляют установками **дренажной и катодной защиты, а также протекторными установками.**

**Дренажная защита**—это способ защиты от коррозии блуждающими токами, который заключен в вынужденной катодной поляризации путем отвода блуждающих токов от защищаемого сооружения к источнику этих токов.

**Катодная защита**—способ защиты сооружения принудительной катодной поляризацией с помощью внешнего источника тока.

**Протекторная защита**—способ защиты сооружения принудительной катодной поляризацией с

помощью подключения к нему электродов из металла, обладающего в данной среде более отрицательным потенциалом, чем потенциал металла сооружения.

Катодная поляризация защищаемого сооружения отрицательно влияет на соседние металлические сооружения, т. к. происходит: уменьшение по абсолютной величине максимального защитного потенциала на соседних металлических сооружениях, имеющих катодную поляризацию; появление опасности электрохимической коррозии на соседних подземных металлических сооружениях, ранее не требовавших защиты от нее.

Если при катодной поляризации нельзя избежать вредного влияния на соседние металлические сооружения, выполняют совместную защиту этих сооружений или принимают другие меры, устраняющие вредное влияние.

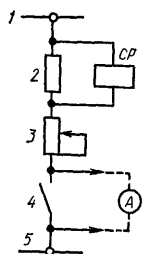
Основное средство защиты от коррозии блуждающими токами – электродренажная защита. Катодную защиту применяют только в тех случаях, когда использование прямых, поляризованных или усиленных дренажей малоэффективно или не оправдано технико-экономическими соображениями.

### 2.7.1.1. Электродренажная защита

Электродренажная защита – наиболее эффективная защита от блуждающих токов. Основной принцип ее состоит в устранении анодных зон на подземных сооружениях. Это достигается отводом (дренажем) блуждающих токов с участков анодных зон сооружения в рельсовую часть цепи электротяги, имеющей отрицательный или знакопеременный потенциал, или на отрицательную сборную шину отсасывающих линий тяговых подстанций. Потенциал сооружения смещается в отрицательную сторону, а анодные зоны, вызванные утечкой блуждающих токов, ликвидируются. При этом катодные зоны в местах входа блуждающих токов в сооружение сохраняются. Очевидно, что электрический дренаж работает только в том случае, когда разность потенциалов “сооружение – элемент рельсовой сети” положительна или искусственно становится положительной.

Рис. 2.3. Принципиальная схема прямого электродренажа.:

1 — рельс; 2 — предохранитель, 3 — регулируемое сопротивление; 4 — рубильник; 5 — сооружение (трубопровод, кабель и т. п.); *CP* — сигнальное реле; *A* - амперметр для контроля тока



Электродренажную защиту осуществляют с помощью установок прямого, поляризованного и усиленного дренажа.

Прямой электрический дренаж (рис. 2.3) наиболее прост по конструкции, имеет реостат для регулирования дренируемого тока. Безреостатный дренаж недопустим из-за возможности возникновения тока, опасного для защищаемого сооружения.

Устройства дренажной защиты подключают только к тем источникам блуждающих токов, которые оказывают влияние на защищаемые сооружения.

### 2.7.1.2. Протекторная защита

Протекторную защиту осуществляют с помощью установки для защиты сооружения от коррозии катодной поляризацией путем присоединения к нему через изолированный проводник

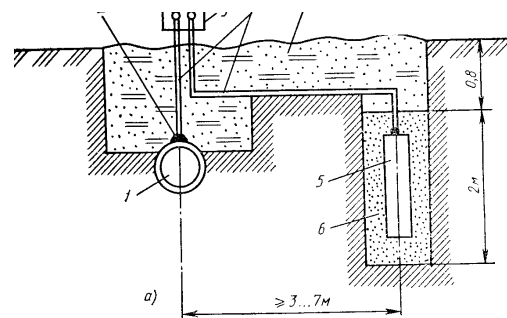


Рис. 2.4 установка протекторной защиты. 1- защищаемое сооружение, 2- контакт с сооружением, 3- контрольно-измерительная колонка, 4- изолированный провод, 5- протектор, 6- наполнитель (активатор), 7- диод, 8- насыпной грунт.

анодного протектора, имеющего более отрицательный электрохимический потенциал по отношению к окружающему грунту, чем защищаемое сооружение.



Протекторная защита—это разновидность катодной защиты, не требующая внешнего источника тока. Необходимый для осуществления защиты поляризационный ток создает крупный электрохимический элемент, в котором роль катода играет металл защищаемого сооружения, а роль анода —более электроотрицательный металл. Так как энергоотдача такого элемента невелика, то иногда приходится создавать несколько расположенных рядом подобных элементов.

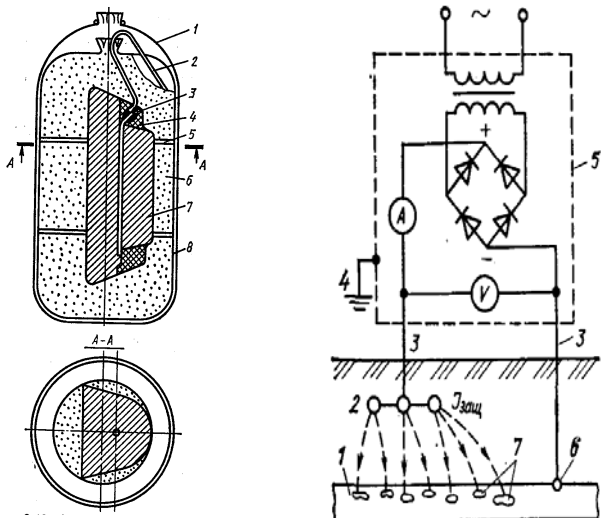


Рис. 2.5. Общий вид протектора с активатором. 1-бумажный (хлопчатобумажный) мешок, 2-изолированный проводник марки ПСРП, 3—электроизоляционная лента, 4- битумно-резиновая мастика, 5- картонная (фанерная) шайба, 6- активатор, 7- магниевый анод, 8-хлопчатобумажный мешок.

Рис. 2.6. Принципиальная схема катодной защиты. 1-сооружение, 2- анодное заземление, 3-соединительная линия, 4- защитное заземление, 5- источник постоянного тока, 6- катодный вывод, 7- поврежденная изоляция,  $J_{\text{защ}}$ - ток катодной защиты

полусу источника. Ток, проходящий от анодного заземлителя к защищаемому сооружению, создает в земле электрическое поле, обуславливающее уменьшение потенциала сооружения. Это приводит к прекращению в нем анодных процессов.

Защита с помощью катодных станций по принципу действия одинакова с протекторной защитой, но более эффективна и применяется для ликвидации анодных зон протяженных сооружений.

Катодную защиту применяют, обычно, для предохранения подземных сооружений от почвенной коррозии. От коррозии блуждающими токами ее применяют в случаях, когда дренаж не целесообразен по экономическим причинам.

Сооружения значительной протяженности не может быть защищено с помощью одиночной катодной установки. В этих случаях используют несколько станций.

#### 2.7.1.4. Анодные заземления

Анодное заземление основано на том, что анодные токи и блуждающие токи с помощью заземления отводятся в глубокие пласты грунта и тем самым обеспечивают уменьшение влияния токов катодной защиты на соседние подземные сооружения.

По конструктивному исполнению анодные заземления могут быть протяженными и сосредоточенными. Чаще используют сосредоточенные заземления, выполненные из вертикальных электродов, горизонтально соединенных полосой. В ряде случаев, когда удельное сопротивление

Для изготовления протекторов используют сплавы на основе магния, цинка, или алюминия— металлов, расположенных в электрохимическом ряду напряжений выше железа, т. е. более электроотрицательные, чем железо.

Активатор-смесь солей, в которую помещен анод с целью повышения эффективности протекторной защиты. В зависимости от условий зона действия протектора может быть 1÷70 м.

Протекторная защита от коррозии блуждающими токами может быть применена только в случаях незначительного их влияния, когда блуждающие токи могут быть скомпенсированы током протекторной установки при обеспечении требуемого защитного потенциала.

#### 2.7.1.3. Катодная защита внешним током

Катодная поляризация при защите происходит с помощью наложенного тока от внешнего источника энергии, обычно выпрямителя, который преобразует переменный ток промышленной частоты в постоянный рис 2.6. Отрицательный полюс источника подключают к защищаемому сооружению, которое выполняет роль катода. Анод электрической цепи —специальное анодное заземление, подключаемое к положительному

нижних слоев грунта значительно меньше, чем верхних, возможно эффективное применение глубинных анодных заземлений (15÷50 метров).

## 2.8. Процессы старения

**Старение**—совокупность физических и химических процессов, протекающих в полимерном материале, приводящих к изменению его состава, структуры и свойств под действием влияющих факторов.

Полимеры—высокомолекулярные соединения, молекулы которых состоят из большого числа одинаковых или чередующихся группировок, соединенных химическими связями.

Полимерные материалы—это композиция, состоящая из полимеров и добавок. Полимерные материалы традиционно делятся на пластмассы, эластомеры и волокна. Полимерные покрытия—пленки из полимерных материалов на поверхностях изделий. Полимерные изделия—изделия из полимерных материалов (детали, узлы), имеющие определенную форму и способные выполнять необходимые эксплуатационные функции.

Совокупность факторов, действующих на полимерные материалы и покрытия объекта, в процессе производства, хранения и эксплуатации определяет условия старения.

Факторы, влияющие на стабильность полимеров, как и при коррозии, можно условно разделить:

1. на внешние (Таблица 2.4),
2. эксплуатационные (связанные с влиянием среды и нагрузок)
3. внутренние или факторы состояния полимеров (определяемые химическим составом, строением, особенностями структуры и фазовым состоянием, молекулярной массой, силами межмолекулярного взаимодействия, деформационными, реологическими и другими свойствами),
4. конструктивно-технологическими факторами (характеризующими особенности конструктивного и технологического изготовления изделий).

Таблица 2.4. Внешние эксплуатационные факторы

№	Фактор	Виды фактора
1	Свет	Рассеянный свет
		Прямой солнечный свет (УФ)
2	Воздух	Кислород
		Озон
		Воздухообмен
3	Температура	Повышенная
		Пониженная
		Перепады
4	Искусственное облучение	α-лучи
		β-лучи
		γ-лучи
5	Влага (вода)	Нейтральная
		Ионизированная
		Характер действия
6	Нагрузки	Механические (Постоянные, переменные, растяжения, сжатия и т.д.)
		Давления
		Истирания
7	Активные среды	Фазовое состояние (Газ, жидкость)
		Движение сред
		рН
		Характер контакта (постоянный, переменный)
		Наличие ингибиторов в среде
8	Микроорганизмы	Бактерии
		Грибы
		Актиномицеты

Следует учитывать свойства полимера (плотность, свето-, влаго-, тепло-, биохимическую стойкость, прочность), определяющие стойкость его к факторам среды.

### 2.8.1. Классификация процессов, протекающих при старении полимеров

Старение полимерных материалов—сложное явление, сопровождающе-еся рядом процессов, которые в зависимости от условий эксплуатации конструкций техники и сооружений и воздействующих факторов среды могут оказывать решающее влияние на прочностные и другие характеристики деталей. При старении возможно протекание следующих процессов:

**Деструкция**—процесс, протекающий с разрывом химических связей в основной цепи макромолекул и приводящий к уменьшению молекулярной массы. Это основной процесс старения, он сопровождается реакцией распада макромолекул, происходящей с разрывом основных цепей макромолекул—деполимеризации, последовательного отщепления молекул мономера от концов макромолекул.

**Структурирование**—процесс образования новых связей между макромолекулами и свободными радикалами, тоже сопровождается изменением структуры и молекулярной массы полимеров.

**Сшивание**—образование поперечных химических связей между макромолекулами; полимераналогичная реакция—превращение группы атомов макромолекулы при сохранении исходной степени полимеризации; изменение надмолекулярной структуры—перестройка физической структуры, характеризуемая различными видами взаимного упорядочения макромолекул.

**Кристаллизация**—фазовый переход 1 рода, приводящий к пространственному упорядочению макромолекул в полимере.

**Полиморфное превращение**—фазовый переход 1 рода одной кристаллической модификации макромолекул полимерного материала в другую.

**Аморфизация**—фазовый переход 1 рода, приводящий к пространственному разупорядочению макромолекул в полимере. В обобщенном виде эти процессы можно рассматривать как релаксационное явление в полимерах, т. е. изменение физического состояния объектов старения во времени, обусловленное установлением термодинамического равновесия.

Сопутствуют старению полимеров процессы сорбции (поглощение вещества полимером) или десорбции (удаление вещества из полимера).

Различают адсорбцию (поверхностная сорбция) и абсорбцию (объемная сорбция). При старении полимеров возможны процессы пластификации или стеклования. **Пластификация** (повышение эластичности или пластичности полимеров) при образовании или миграции веществ (пластификаторов) в результате старения. Чаще этот способ применяют для искусственного изменения упомянутых свойств путем введения добавок-пластификаторов.

**Стеклование**—переход полимера из высокоэластичного или вязкотекучего в стеклообразное состояние. Оба процесса связаны с изменением структуры полимеров. Пластификация может сопровождаться **набуханием**—процессом распределения растворителя между макромолекулами полимера, а затем и растворением—процессом распределения молекул полимера в среде растворителя.

При наличии внешних или внутренних напряжений в полимере происходит ориентация, т. е. перестройка структурных элементов, приводящая к преимущественному расположению осей макромолекул в направлении действующих сил. Многократные циклические нагружения приводят к изменению свойств полимера—явлению, называемому усталостью. Нарастание деформации во времени под действием постоянного напряжения может привести к явлению **ползучести**. При недостаточности пластичности (упругости) происходит нарушение сплошности полимера в массе или на поверхности, в обоих случаях наблюдается процесс образования трещин. Конечным результатом может быть разрушение объекта старения, т. е. потеря целостности под действием механического напряжения.

Продолжительность эксплуатации объекта от момента нагружения до его разрушения под воздействием термофлуктуационного распада, активированного механическим напряжением, называют **механической долговечностью**.

По характеру протекания процесса различают три типа старения:

**равномерное**, протекающее с одинаковой скоростью во всем объеме материала;  
**неравномерное**, протекающее с различной скоростью в различных участках материала;  
**избирательное**, характерное для многокомпонентных полимерных материалов, где изменения компонентов происходят с различными скоростями.

С учетом влияния среды и эксплуатационных факторов старение подразделяют на следующие виды: **при воздействии механических нагрузок**; **радиационное**; **термическое**, вызванное действием повышенных температур; **световое**, в результате воздействия света (ультрафиолета); **химическое**, под действием химических реagens; **окислительное**, под действием кислорода и др. окислителей (частный вид химического старения); **биологическое**, в результате воздействия микроорганизмов и продуктов их жизнедеятельности; **электрическое**; **абляция** (при воздействии потоков газа, твердых частиц и высокой температуры); **старение в космосе, в водной и влажной среде, в почве и грунте, при контакте с живыми организмами** (животными и человеком); **в искусственных условиях**, имитирующие естественные, с целью моделирования или ускорения процессов старения.

Старение полимеров при эксплуатации изделий из полимеров происходит в основном за счет процессов деструкции макромолекул, в результате чего образуются низкомолекулярные фракции, снижается молекулярная масса полимера. Процесс делится на две группы: беспорядочная деструкция и цепная деструкция.

Беспорядочная деструкция происходит в результате влияния факторов среды и вследствие концентрации энергии на определенной связи. Сюда относится химическая деструкция (гидролиз, ацидолиз, аминолиз и т.д.).

Этот вид деструкции может остановиться на любой стадии при снижении температуры, удалении реагента и т. д.

Таким образом, старение полимеров ведет к ухудшению механических свойств и снижению работоспособности деталей машин, оборудования и сооружений, необратимым эффектам повреждения конструкций, вызывающим отказы.

В реальных условиях эксплуатации или хранения изделий действуют одновременно много факторов, что значительно усложняет изучение явления старения полимерных материалов и разработку методов их защиты.

### **2.8.2. Методы исследования старения полимерных материалов**

Методы исследования старения можно разделить на две группы: **испытания в искусственных и в естественных условиях**. Первые составляют группу лабораторных испытаний и проводятся преимущественно на образцах материалов и покрытий; вторые объединяют подгруппы: испытания в природных условиях и эксплуатационные испытания, которые проводятся на образцах, узлах и изделиях.

Лабораторные испытания подразделяют на **имитационные**, позволяющие получить модели, подобные эксплуатирующимся объектам с учетом выбранных значимых факторов, и **ускоренные**, позволяющие проводить испытания в более жестких условиях и получить менее точные модели, но в более короткий период времени.

Испытания в природных условиях объединяют испытания на климатических станциях, испытания с использованием гелиоустановок, комбинированные и комплексные. Эксплуатационные испытания могут подразделяться на испытания при опытной эксплуатации (специально выделенные объекты) и испытания, проводимые непосредственно во время эксплуатации объектов, при этом их разделяют на динамические, статические и переменные.

Комбинированные методы выполняются с учетом попеременного или одновременного воздействия набора климатических и других факторов.

Наибольшее значение имеют комплексные испытания, так как они позволяют объединить реально протекающие процессы, например, коррозии и старения, биоповреждений и старения, а также перечисленные совместно. Однако методология их проведения достаточно сложна и требует предварительного анализа и обоснования.

При проведении испытаний целесообразно использовать основные показатели процессов старения и критерии оценки стойкости полимерных материалов.

Характерный показатель процесса старения—показатель свойства полимерного материала, по изменению величины которого контролируют процесс.

**Скорость старения**—основной количественный показатель процесса, выражающий изменение характерного показателя старения в единицу времени.

**Коэффициент старения**—безразмерная величина, определяемая относительным изменением показателя старения полимера в фиксируемый интервал времени.

Основной критерий, характеризующий способность объектов сохранять свойства в определенных (заданных или требуемых) пределах в условиях воздействия факторов старения—**стойкость к старению**.

Кроме этого, важнейшими критериями стойкости полимеров к старению являются эксплуатационная пригодность и срок сохранения свойств. **Эксплуатационная пригодность**—состояние, при котором полимерный материал обеспечивает работоспособность изделия, а показатели соответствуют значениям, установленным в технической документации.

**Срок сохранения свойств**—продолжительность хранения и эксплуатации объекта в условиях, установленных технической документацией, до нарушения эксплуатационной пригодности.

Кроме этого, различают следующие виды (качественные и количественные показатели) стойкости к старению: **климатическая (термическая, радиационная) стойкость, свето-, морозо-, влаго-, водостойкость** и т.д.

Оценку стойкости полимерных материалов к старению осуществляют **качественно или количественно**.

**Качественная оценка** проводится по балльной системе. Известны системы от трехбалльной (по изменению массы и механических показателей) до десятибалльной (по срокам службы полимерных материалов и покрытий).

**Количественная оценка** проводится по изменению основных показателей процессов старения в соответствующих единицах измерения при использовании определенных методов исследования.

### 2.8.3. Методы и средства защиты от старения

Методы защиты полимерных материалов от старения в общем случае разделяют на методы **активной защиты** (направлены на ослабление воздействующих факторов), и **пассивной защиты** (направлены на повышение стабильности полимера, например, ввод добавок) и **комбинированные**.

Методы активной защиты от старения аналогичны методам активной защиты от коррозии.

Методы стабилизации, использующие способы повышения стойкости полимеров к старению, специфичны. Основу их применения составляют стабилизаторы — вещества, которые, будучи введенными в полимер, повышают его стойкость к старению.

Стабилизаторы замедляют определенный вид старения:

1. термостабилизаторы—вещества, повышающие стойкость объекта старения к термическому старению; акцепторы свободных радикалов—стабилизаторы, образующие с упомянутыми стабильные продукты, комплексы или малоактивные радикалы; акцепторы продуктов—стабилизаторы, дезактивирующие каталитически активные продукты старения;
2. светостабилизаторы—вещества, повышающие светостойкость объектов старения;
3. антиоксиданты—стабилизаторы, повышающие стойкость полимера к окислительному старению;
4. антиозонаты—стабилизаторы, повышающие стойкость к озонному старению;
5. антипирены—вещества, понижающие горючесть объекта старения;
6. антирады—то же, в отношении радиационного старения;
7. противоутомители—стабилизаторы процесса старения при механическом воздействии.

Кроме этого, известны и рекомендованы к применению ингибиторы коррозии и биоциды, обладающие свойствами стабилизаторов старения. При введении нескольких упомянутых веществ возможны три варианта их действия: независимое (суммарное) синергизм и антагонизм. Первый не требует разьяснения. Вторым имеет большую эффективность при совместном использовании веществ, чем эффективность каждого, в отдельности взятого в концентрации, равной суммарной концентрации смеси. Третий ослабляет эффект действия как суммы, так и одного из введенных

веществ в результате действия других.

Целесообразно применение защитных покрытий, которые более стойки к воздействующим факторам старения, чем защищаемый ими полимер.

Методы защиты полимеров от старения, как и в случае рассмотрения процессов коррозии и биоповреждений, должны быть направлены на ослабление факторов среды (активная защита), на стабилизацию полимерных материалов (ввод различных добавок) и могут быть комбинированными.

Стабилизацию полимеров осуществляют на стадии производства и применяют чаще других методов.

Добавки, вводимые в полимерные материалы с целью стабилизации последних, должны снижать эффект действия основных факторов среды или тормозить развитие одной из основных реакций в механизме старения полимера. Например, для защиты полимера от атмосферного старения необходимо уменьшить энергию, поглощаемую полимером в результате воздействия ультрафиолетовых лучей. Для этой цели добавки должны в большей степени поглощать ультрафиолетовые лучи, не разрушаясь при этом. Другой путь—взаимодействие добавок с образовавшимися радикалами и прекращение цепной реакции в начале ее развития.

В первом случае добавки называются “экранирующими агентами”, во втором—“деактиваторами возбужденного состояния”. В первом случае вещества — ингибиторы старения полимеров должны обладать электронным уровнем, которому отвечает максимум спектра пропускания в той же области, что и спектр пропускания полимера, во втором — электронным уровнем, которому отвечает максимум спектра поглощения, приходящегося на ту же область, что и максимум спектра люминесценции полимера. Ингибиторами старения, функционирующими как экранирующие агенты, служат газовая сажа, окись железа (до 1 %) и фталоцианин (до 0,1 %).

Ингибиторы старения, никелевые комплексные соединения, например, производные тетраметилбутилфенолята никеля, действуют как деактиваторы возбужденного состояния. Такие соединения одновременно поглощают солнечные лучи.

### **2.9. Биоповреждения. Основные понятия и терминология.**

Биоповреждения—особый вид разрушения материалов конструкций техники, связанный с воздействием микроорганизмов (бактерий, грибов и др.). К биоповреждениям относят также разрушение промышленных и строительных материалов насекомыми и грызунами, повреждения летательных аппаратов птицами, а речных и морских судов, кораблей ВМФ и гидротехнических сооружений водными организмами-обрастателями.

Все перечисленное можно считать биофакторами при рассмотрении процессов повреждения конструкций техники в результате влияния факторов среды или биоагентами при рассмотрении биоповреждений отдельных материалов.

Биофакторы могут воздействовать специфически (микроорганизмы потребляют материалы конструкций в качестве источников питания) после определенного, периода адаптации или косвенно (продукты жизнедеятельности микроорганизмов повышают агрессивность среды и стимулируют процессы коррозии металлов, старения полимеров).

Процессы биоповреждений по своему механизму различны и зависят как от биофактора, так и от особенностей подверженного его действию—объекта. Например, механическое повреждение самолета, столкнувшегося со стаей птиц во время полета, равно как и электрохимическая коррозия трубопроводов, связанная с жизнедеятельностью железобактерий, относятся к разряду биоповреждений.

Если млекопитающие, птицы, рыбы и некоторые другие организмы чаще вызывают механические повреждения, то в основе биоповреждающего действия микроорганизмов находятся, как правило, ферментативные реакции. Здесь преимущество должно быть отдано ферментам—оксидоредуктазам и гидролазам. Для проявления активности ферментов необходима водная среда. Вода может быть в большем или меньшем количестве в повреждаемом объекте. Влага может вноситься за счет самих микробных клеток, содержащих 80% и более воды. Ее достаточно, чтобы индуцировать соответствующие ферментативные реакции.

При заметном размножении микроорганизмов в какой-либо среде необходимо учитывать не только ферментативные реакции, приводящие к химическому изменению объекта, но и микробную

массу, засоряющую, например, топливопроводы и топливные баки, забивающую фильтры, клапаны и сопла двигателей в самолетах.

Перечислим некоторые термины и определения в области защиты технических объектов от биоповреждений:

- биологический фактор (биофактор) и вид воздействия биофактора—организмы или их сообщества, вызывающие нарушение исправного и работоспособного состояния объекта,
- биологическое повреждение объекта (биоповреждение)—повреждение объекта, вызываемое биофактором. Сопровождается оно одним из следующих повреждений: механическим, химическим, биологическим засорением, электрохимическим или комплексом их;
- разрушение под воздействием биофактора (биоразрушение)—частичное или полное разрушение объекта под воздействием биофактора или биофакторов, сопровождающееся изменением его химического состава и строения; завершающая стадия биоповреждения;
- биологическое засорение объекта (биозасорение) и засоритель—состояние объекта, связанное с присутствием биофактора, после удаления которого восстанавливается исправное и работоспособное состояние объекта.
- биологическая коррозия (биокоррозия)—коррозия металла под воздействием биофактора.
- обрастание и обрастатель,
- стойкость к воздействию биофактора (биостойкость),
- бактериостойкость,
- грибостойкость,
- микробиологическая стойкость—свойство объекта сохранять значение показателей в пределах, установленных нормативно-технической документацией в течение заданного времени в процессе или после воздействия биофактора. Термин биостойкость применяют с указанием конкретного биофактора (бактериостойкость, грибостойкость);
- испытания на биостойкость,
- испытания на биостойкость в природных условиях,
- эксплуатационные испытания на биостойкость,

А также определения, применяемые в смежных областях науки и техники; биоцид, биоцидная обработка объекта, фунгицидность, фунгистатичность, бактерицидность, бактериостатичность.

Развитие микроорганизмов неразрывно связано с окружающей средой, жизнедеятельность их зависит от внешних воздействующих факторов.

Физические факторы—влажность среды, концентрация веществ в водных растворах, осмотическое давление, температура, радиация.

Влажность среды—определяющий фактор жизнедеятельности многих микроорганизмов. Нитрифицирующие бактерии, например, при недостатке влаги погибают. Грибы и споры многих бактерий, наоборот, сохраняют жизнеспособность в высушенном состоянии десятки лет. Почвенные микрогрибы развиваются наиболее интенсивно при влажности около 60 %. Высокое содержание некоторых веществ в водной среде нарушает нормальный обмен между средой и клеткой. Вода выходит из клетки, цитоплазма отделяется от клеточной оболочки (плазмолиз), поступление в клетку питательных веществ прекращается. На этом свойстве основаны методы консервации (соление) пищевых продуктов. Употребляются 16÷30 %-ные растворы хлорида натрия или 60÷70 %-ные растворы сахара. С ростом концентрации веществ растет осмотическое давление ( $P_0$ ). Консервирующий эффект заметен при  $P_0 \approx 5$  МПа.

Температура среды—важнейший фактор, влияющий на жизнь микробов. Каждому виду микроорганизмов соответствует свой температурный интервал жизнедеятельности и свой оптимум. Микроорганизмы делят на три группы: психрофилы (холодолюбивые) с интервалом жизнедеятельности 0÷10°C и оптимумом ~10°C; мезофилы (предпочитающие средние температуры)—соответственно 10÷40 °C и 25 °C и термофилы (теплолюбивые)—40÷80°C и 60°C.

Губительное действие высоких температур используют для уничтожения (частичного или полного) микроорганизмов. **Пастеризация**—нагрев до 60÷70 °C в течение 20÷30 мин и до 70÷80 °C в

течение 5÷10 мин, в результате которого погибают вегетативные формы микроорганизмов. **Стерилизация**—нагрев до 100÷130 °С в течение 20÷40 мин, при котором уничтожаются практически все формы микроорганизмов, в том числе и споры бацилл.

Излучение (солнечный свет, особенно ультрафиолетовые лучи) губительно для микроорганизмов.

Рентгеновские и другие радиоактивные излучения в малых дозах стимулируют развитие некоторых микробов, в больших дозах убивают их. Электрический ток высокой частоты, механические сотрясения (вибрации), ультразвук уничтожают микроорганизмы, высокие давления влияют слабо.

Отдельные виды бактерий обитают в океане на глубине до 9 км. Некоторые виды грибов выдерживают давление до 100 МПа.

Химические факторы—состав и реакция среды, а также ее окислительно-восстановительные действия. В окружающей среде могут содержаться вещества, которые стимулируют или ингибируют жизнедеятельность микроорганизмов. Стимулируют жизнедеятельность микроорганизмов различные загрязнения. Они же—важнейший фактор иницирования процесса биоповреждений. Губительное (биоцидное) действие для многих микробов оказывают соли тяжелых металлов (ртути, свинца, серебра, меди), галогены, некоторые галоиды и окислители, особенно хлорид бария, перекись водорода, перманганат и бихромат калия, борная кислота, углекислый и сернистый газы, фенол, крезол, формалин.

Реакция среды—существенный фактор, определяющий жизнедеятельность микроорганизмов. Ее характеризует водородный показатель рН (отрицательный логарифм активности ионов водорода).

Большинство бактерий лучше развиваются в нейтральной и слабощелочной среде,  $pH = 7 \div 7,5$ .

Для грибов и дрожжей благоприятны среды с  $pH 3 \div 6$ . В очень кислых и очень щелочных средах микроорганизмы погибают, за исключением специфических видов (молочно-кислые, уксусно-кислые).

Окислительно-восстановительные процессы характеризует показатель  $rH_2$  (отрицательный логарифм давления молекулярного водорода, выражающий степень аэробности). При перенасыщении среды кислородом  $rH_2 = 41$ . Если среда насыщена молекулярным водородом, то  $rH_2 = 0$ . Равновесие окислительных и восстановительных процессов характеризуется  $rH_2 = 28$ . Потребность в кислороде у микроорганизмов различна. Анаэробы существуют при  $rH_2 = 8 \div 10$ . аэробы—при  $rH_2 = 10 \div 30$ . Факультативные анаэробы жизнеспособны при  $rH_2 = 0 \div 30$ .

Биологические факторы учитывают взаимоотношения микроорганизмов в окружающей среде. Они могут быть симбиотическими и антагонистическими. При симбиозе виды, находящиеся в сожительстве, поддерживают развитие друг друга, извлекая взаимную пользу. Симбиоз **может** принимать следующие формы. **Метабиоз**—использование продуктов жизнедеятельности одного микроорганизма другим (сапрофиты расщепляют белки до аминокислот, которые служат исходным материалом для нитрофицирующих бактерий). Метабиоз—основная форма взаимоотношений почвенных микробов. **Комменсализм**—форма существования микроорганизмов, когда они питаются за счет макроорганизмов, не нанося последним ущерба. **Мутуализм**—также симбиоз микро- и макроорганизмов, выгодный для обоих. При антагонизме одни виды микроорганизмов в результате своей жизнедеятельности губят другие. Это происходит косвенным путем: в среде накапливаются продукты жизнедеятельности одних организмов, губительные для других, например, антибиотики микромицетов и грибов подавляют многие бактерии, фитонциды многих растений также обладают бактерицидными свойствами. Возможно подавление прямым путем —паразитизм. Микроб-паразит использует в качестве источника питания другой организм, что приводит к гибели последнего. Явление антагонизма микроорганизмов может служить основой для разработки биохимических и экологических методов защиты от биоповреждений.

### 2.9.1. Классификация биоповреждений

Механизм биоповреждений весьма сложен. Микроорганизмы могут непосредственно разрушать материал конструкций, но чаще они стимулируют процессы биоповреждений.

Классификация биоповреждений построена с учетом биофакторов и подверженных их



воздействию объектов. На основании накопленного фактического материала за основу можно взять среду обитания, биофактор или повреждаемые материалы.

По среде обитания следует различать биоповреждения в почве, грунте, в водной среде, в наземной (воздушной) среде, в космосе, в органических средах, например продуктах нефтепереработки.

По биофакторам различают:

а) воздействие микроорганизмов: простейшие, грибы, бактерии, лишайники. Все микроорганизмы относят к прокариотам (бактерии) и эукариотам (грибы, простейшие). Лишайники обычно состоят из водорослей и грибов;

б) воздействие макроорганизмов: растения, животные с клеточным, органным и системным уровнями организации (беспозвоночные и хордовые).

По механизму процесса можно рассматривать биоповреждения как физическое, биохимическое, физико-биохимическое разрушения материалов.

По большому счету микроорганизмы могут либо питаться материалами изделия, либо повреждать их за счет своей жизнедеятельности.

По повреждаемым материалам различают действие: на кирпич, камень, здания, сооружения, стекло, силикаты, оптику, дорожные покрытия, древесину и изделия из нее, металл, металлоизделия, полимеры, резину, нефть, нефтепродукты, бумагу, документы, фото, книги, музейные коллекции, краски, клей, кожи, шерсть, одежду, обувь, радио- и электрооборудование.

### **2.9.2. Общая характеристика проблемы биоповреждений**

В природных условиях организмы существуют и проявляют свою активность обычно в ассоциациях, которые могут изменяться под воздействием привносимых в биосферу новых, ранее не существовавших объектов, например, новых полимерных материалов. Поэтому проблему биоповреждений относят к числу экологических. Люди должны заботиться о среде своего существования, сохраняя и поддерживая ее на оптимальном уровне. В плане технологических проблем важно создавать такие материалы, которые в составе изделий служили бы требуемый период времени без текущего и последующего загрязнения биосферы или нарушения экосистем в ней. Однако в результате повреждающего действия биофакторов объекты подвержены соответствующим изменениям, которые в свою очередь ведут к отказам. В качестве примера можно отметить: обрастание подводной части судов организмами-обрастателями, нарушающими лакокрасочные покрытия, снижающими ходовые качества кораблей, приводящими к перегреву и преждевременному износу систем и двигателей; повреждение грызунами целлюлозных материалов (бумаги, картона, древесины), резиновых изделий, пластмасс, лакокрасочных покрытий; повреждение птицами архитектурных сооружений, памятников культуры, транспортных средств и летательных аппаратов; уничтожение хлопка, шерсти, мехов и других материалов насекомыми; повреждения микроорганизмами оптики, произведений искусств, изделий из кожи, хлопчатобумажных тканей, древесины, пластмасс и ряда других материалов.

Микроорганизмы по данным разных авторов вызывают от 50 до 80% всех повреждений. Ущерб, причиняемый объектам в результате биоповреждений в 14 ведущих странах исчисляется суммой более 2 млрд. долларов в год.

Повреждение биофакторами соответствующих объектов не только ведет к их изменению, но может прямо или косвенно отразиться на здоровье человека (выделение токсических продуктов, ухудшение микроклимата, появление аллергенов и др.). Все это необходимо учитывать при создании и эксплуатации соответствующих материалов и изделий из них в закрытых и открытых экосистемах.

Система защиты должна быть построена с учетом общих экономико-статистических данных о биоповреждениях и эффективности средств защиты в масштабе всей страны.

Таким образом, разработка эффективных методов и средств защиты от биоповреждений требует комплексного подхода как к научно-исследовательской работе, так и к практическим мероприятиям. Проблема биоповреждений предусматривает изучение взаимоотношений и взаимодействия двух аспектов — экологического и технического, прежде всего с точки зрения их значения для хозяйственной деятельности и существования человека.

Проблему биоповреждений нельзя решать вне общеэкологических и народнохозяйственных

программ, направленных на защиту окружающей среды от загрязнений. Живые организмы очищают планету от старых, отработавших свой срок материалов и изделий. Защита материалов от биоповреждений с помощью химических средств приводит в известной мере к загрязнению окружающей среды. Процессы биоповреждений эксплуатирующихся материалов в конструкциях и биоразрушения отработавших и подлежащих утилизации конструкций протекают в одних и тех же экологических условиях. Задача заключена в том, чтобы остановить или замедлить первые, не затрагивая или активизируя вторые.

### **2.9.3. Методы исследования биоповреждений**

При исследовании биоповреждений существуют определенные методологические трудности:

- на ранних стадиях биоповреждения сложно диагностировать с идентификацией микроорганизмов, без привлечения специалистов они могут остаться нераспознанными;
- в своем развитии эти процессы трудно моделировать и прогнозировать из-за взаимного влияния микроорганизмов, входящих в биоценозы, синергических эффектов в отношении материалов и адаптации при описанном выше влиянии материалов и среды на микроорганизмы;
- в определении эффектов повреждений материалов затруднено выделение вклада микроорганизмов, так как факторы, стимулирующие биоповреждения, а также процессы коррозии и старения практически одни и те же, поэтому в реальных условиях эксплуатации необходимо упомянутые процессы изучать в совокупности;
- механизм биоповреждений имеет специфические особенности, связанные с попаданием микроорганизмов на поверхность металлоконструкций, адсорбцией их и загрязнением поверхностей, образованием микроколоний, накоплением продуктов метаболизма, стимулированием электрохимической коррозии металлов и старения полимерных материалов и покрытий, эффектами синергизма.

Установлена закономерность обрастания полимерных материалов и покрытий одними и теми же грибами в идентичных условиях эксплуатации изделий независимо от почвенно-климатической зоны их размещения.

Биохимическая активность таких микроорганизмов на 1÷2 порядка выше, чем у штаммов музейных культур.

Обобщенный механизм биоповреждений микроорганизмами объединяет ряд этапов.

**Первый этап**—перенос микроорганизмов на поверхность металлоконструкций. Наибольшее его проявление на поверхностях изделий и сооружений, контактирующих или находящихся вблизи почв и листвы деревьев.

Перенос микроорганизмов осуществляется посредством воздушных потоков, несущих бактерии, актиномицеты, мицелии и споры грибов с частицами почвы и опадающей листвой. Менее вероятен путь переноса посредством влаги воздуха и проникающими почвенными водами. Возможен перенос микроорганизмов и загрязнений поверхностей эксплуатирующихся конструкций насекомыми и пауками. Часты случаи переноса микроорганизмов с загрязненных поверхностей технологического характера. Эти загрязнения вносит человек, выполняя операции технологического цикла. На поверхности остаются смазочные материалы, масла, волокна тканей, частицы пыли, песка, компоненты пота.

**Второй этап**—адсорбция микроорганизмов и загрязнений на поверхностях конструкций. Процесс адсорбции весьма сложен и зависит от строения и свойств микроорганизмов, характера поверхности и особенно степени шероховатости ее, состояния среды (наличия кислорода в воздухе, температурно-влажностных условий, pH водных пленок), характера контакта между микроорганизмами, загрязнениями и поверхностями материалов. Микроорганизмы имеют строение, позволяющее им достаточно прочно прикрепляться к твердым поверхностям. Актиномицеты, например, могут образовать два мицелия—воздушный и почвенный. Первый они используют для размножения, второй—для прикрепления к субстрату и извлечения питательных веществ. Этот мицелий состоит из тончайших гиф, отличающихся кожистым строением и значительной плотностью.

**Третий этап**—образование микроколоний и их рост до размеров, видимых невооруженным глазом, сопровождаемый появлением коррозионно-активных метаболитических продуктов и локальным накоплением электролитов с избыточным содержанием гидроксония  $\text{H}_3\text{O}^+$ . Состав

биоценоза и эффект повреждения материала определяет доступность субстрата для заселения микроорганизмами, уровень и характер загрязнения (с учетом специфики производства и эксплуатации).

**Четвертый этап**—накопление продуктов метаболизма, образующихся в результате жизнедеятельности микроорганизмов на поверхностях металлоконструкций. Несовершенные грибы продуцируют десятки органических кислот. Например, *Aspergillus niger* образует щавелевую, фумаровую, янтарную, малеиновую, яблочную, лимонную, глюконовую, винную, молочную кислоты. Такие грибы относят к технофилам. Они встречаются при эксплуатации практически во всех климатических зонах. Органические кислоты повышают агрессивность среды, стимулируя процессы коррозии металлов и деструкцию полимеров, а также служат источником питания для других микроорганизмов. Некоторые грибы увеличивают щелочность среды или воздействуют на материалы конструкций окислительными ферментами с выделением перекиси водорода и при разложении последней—атомарным кислородом. К таким ферментам относятся оксидоредуктаза (каталаза, пероксидаза, полифенолоксидаза) и эстеразы (фосфатолаза, липазы). Особенно существенный вклад вносят ферменты микроорганизмов в процесс низкотемпературной деструкции полимеров, резин, строительных материалов.

**Пятый этап**—стимулирование процессов коррозионного разрушения металлов и старения полимеров—явление, сопутствующее биоповреждениям.

Стимулирование старения полимеров происходит в основном в направлении усиления химической деструкции продуктами жизнедеятельности и прямым потреблением микроорганизмами продуктов разрушения полимерных цепей.

**Шестой этап**—синергизм биоповреждений—происходит как результат воздействия ряда факторов и взаимного стимулирования процессов разрушения (коррозии, старения, биоповреждений), а также развития биоценоза. Характер и интенсивность биоповреждений зависят от адаптации и видового отбора микроорганизмов-технофилов.

Высокая приспособляемость микроорганизмов к условиям обитания и источникам питания делает невозможным получение биостойких материалов на достаточно длительный период времени и унификацию средств защиты. В результате воздействия биоцидов происходят изменения несовершенных грибов, стимулирующих деструкцию полимеров.

Синергизм биоповреждений возможен также при взаимодействии различных групп, родов и видов микроорганизмов. В процессе жизнедеятельности одни микроорганизмы подготавливают условия для развития других видов. Так, обнаружен рост грибов одного вида на погибающих колониях других грибов. Это способствовало накоплению продуктов метаболизма и усилению эффекта биоповреждений несовершенными грибами. Случаи катастрофического разрушения сооружений в результате синергического эффекта, вызванного последовательным действием ацидофильных и ацидофобных тионовых бактерий, описаны в литературе. Борьба с биоповреждениями на этой стадии носит запоздалый характер. Мероприятия должны быть направлены на предотвращение синергизма биоповреждений. Наиболее эффективные из них – изменение условий эксплуатации конструкций техники и сооружений.

Для предотвращения биоповреждений на этом этапе необходимо исключить попадание микроорганизмов на поверхность конструкций машин частичной или полной герметизацией поверхности, очисткой поступающего воздуха от загрязнений с одновременной его осушкой, а также проведение профилактических мероприятий по очистке поверхности металлоконструкций перед эксплуатацией и при проведении технического обслуживания.

От прочности сцепления микроорганизмов и частиц структуры загрязнений и условий эксплуатации техники зависит эффект биоповреждений. Для борьбы с биоповреждениями на этом этапе необходимы мероприятия по снижению шероховатости и пористости поверхностей и приданию им водоотталкивающих свойств (гидрофобизация). На этом этапе целесообразны мероприятия по очистке поверхностей с применением физических, химических, биологических и других методов защиты

Введение веществ, ингибирующих процесс развития микроорганизмов и нейтрализующих продукты их жизнедеятельности, необходимо для снижения эффекта биоповреждений. Возможно

применение методов биологической, экологической и комбинированной защиты на этом этапе развития процесса биоповреждений.

Участие в процессе коррозии микроорганизмов снимает известные ограничения по условиям его протекания (температуре и влажности). Бактерии, например, могут стимулировать процессы биокоррозии в широких интервалах температур; грибы—широком интервале относительной влажности: более 30%—**гидрофиты**, 10÷30%—**мезофиты**, менее 10 %—**ксерофиты**.

Методы защиты от биоповреждений на этом этапе—химические (применение биоцидов со свойствами ингибиторов коррозии и старения), очистка поверхности металлоконструкций, изменение условий эксплуатации. К перспективным методам защиты от биоповреждений следует отнести биологические и экологические методы, использующие антагонизм отдельных видов и паразитизм одних (не опасных для металлоконструкций) за счет других (стимулирующих биоповреждения). Эти методы относят к экологически правильным, но пока применяются они в технике в единичных случаях. Радиационные методы, относящиеся к физическим, с использованием, например, радиоактивного технеция с периодами полураспада  $2,12 \cdot 10^5$  лет и его соединений, также можно отнести к группе перспективных, однако они дорогостоящи. Из химических методов заслуживают внимания только те, которые отвечают вышеперечисленным требованиям в отношении микроорганизмов (биостатичность, длительность и эффективность защиты) и среды (отсутствие загрязнений).

На базе веществ, обладающих высокой индивидуальной фунгистатичностью, разработаны составы, характеризующиеся синергическими эффектами компонентов. Разработаны составы для удаления загрязнений и биомассы микроорганизмов с поверхностей металлоконструкций, предохраняющие в последующем их от повторного обрастания.

## **2.10. Разрушение цементного камня**

Цементный камень состоит из гелевых и кристаллических продуктов гидратации цемента и многочисленных включений в виде негидратированных зерен клинкера. Основная масса новообразований при взаимодействии цемента с водой получается в виде гелевидной массы, состоящей в основном из субмикрочастичек гидросиликата кальция. Гелеподобная масса пронизана относительно крупными кристаллами гидроксида кальция. Такое своеобразное "комбинированное" строение предопределяет специфические свойства цементного камня, резко отличающиеся от свойств других материалов—металлов, стекла, гранита и т.п. Например, с наличием гелевой составляющей связана усадка при твердении на воздухе и набухание в воде, особенности работы под нагрузкой и другие свойства.

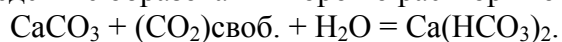
Коррозия цементного камня вызывается воздействием агрессивных газов и жидкостей на составные части затвердевшего портландцемента, главным образом на  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Встречаются десятки веществ, могущих воздействовать на цементный камень и оказаться для него вредным. Несмотря на разнообразие агрессивных веществ, основные причины коррозии можно разделить на три вида:

- разложение составляющих цементного камня, растворение и вымывание гидроксида кальция;
- образование легкорастворимых солей в результате взаимодействия гидроксида кальция и других составных частей цементного камня с агрессивными веществами и вымывание этих солей (кислотная, магниезальная коррозия);
- образование в порах новых соединений, занимающих большой объем, чем исходные продукты реакции; это вызывает появление внутренних напряжений в бетоне и его растрескивание (сульфоалюминатная коррозия).

Коррозия первого вида. Выщелачивание гидроксида кальция происходит интенсивно при действии мягких вод, имеющих мало растворенных веществ. К ним относятся воды оборотного водоснабжения, конденсат, дождевые воды, воды горных рек и равнинных рек в половодье, болотная вода. Содержание гидроксида кальция в цементном камне через 3 месяца твердения составляет 10÷15% (считая на  $\text{CaO}$ ). После его вымывания и в результате уменьшения концентрации  $\text{CaO}$  (менее 1,1 г/л) начинается разложение гидросиликатов и гидроалюминатов кальция. Выщелачивание  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в количестве 15-30% от общего содержания в цементном камне вызывает понижение его прочности на 40-50% и более. Выщелачивание можно заметить по появлению белых подтеков на

поверхности бетона. Для ослабления коррозии выщелачивания ограничивают содержание трехкальциевого силиката в клинкере до 50%. Главным средством борьбы с выщелачиванием гидроксида кальция является введение активных минеральных добавок и применение плотного бетона. Процесс выщелачивания гидроксида кальция замедляется, когда в поверхностном слое бетона образуется малорастворимый  $\text{CaCO}_3$  вследствие карбонизации  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  при взаимодействии с  $\text{CO}_2$  воздуха. Выдерживание на воздухе бетонных блоков и свай, применяемых для сооружения оснований, а также портовых и других гидротехнических сооружений повышает их стойкость.

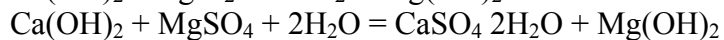
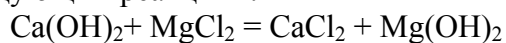
Коррозия второго вида. *Углекислотная коррозия* развивается при действии на цементный камень воды, содержащей свободный двуоксид углерода в виде слабой угольной кислоты. Избыточный (сверх равновесного количества) двуоксид углерода разрушает карбонатную пленку бетона вследствие образования хорошо растворимого бикарбоната кальция по реакции



*Общекислотная коррозия* происходит при действии растворов кислот, исключение составляют поликремневая и кремнефтористоводородная кислоты. Свободные кислоты встречаются в сточных водах промышленных предприятий, они могут проникать в почву и разрушать бетонные фундаменты, коллекторы и другие подземные сооружения. В атмосфере могут содержаться ангидриды различных кислот, а также хлор и хлористый водород. При растворении их во влаге, адсорбированной на поверхности железобетонных конструкций, образуются кислоты. Кислота вступает в химическое взаимодействие с гидроксидом кальция, при этом образуются растворимые соли (например,  $\text{CaCl}_2$ ) и соли, увеличивающиеся в объеме ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).

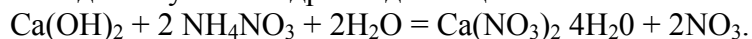
Кроме того, кислоты могут разрушать и силикаты кальция. Бетон на портландцементе защищают от непосредственного действия кислот с помощью защитных слоев из кислотостойких материалов.

*Магнезиальная коррозия* наступает при взаимодействии на гидроксид кальция магнезиальных солей, которые встречаются в растворенном виде в грунтовых водах и всегда содержатся в большом количестве в морской воде. Разрушение цементного камня вследствие реакции обмена протекает по следующим реакциям:



В результате этих химических реакций образуется растворимая соль (хлористый кальций или двуводный сульфат кальция), вымываемая из бетона. Гидроксид магния представляет бесвязную массу, не растворимую в воде, поэтому реакция идет до полного израсходования гидроксида кальция.

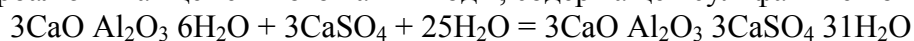
*Коррозия под действием минеральных удобрений.* Особенно вредны для бетона аммиачные удобрения—аммиачная селитра и сульфат аммония. Аммиачная селитра, состоящая в основном из нитрата аммония  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , подвергается гидролизу и поэтому дает в воде кислую реакцию. Нитрат аммония действует на гидроксид кальция



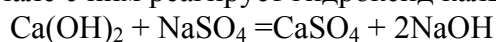
Образующийся нитрат кальция хорошо растворяется в воде и вымывается из бетона. Хлористый калий  $\text{KCl}$  повышает растворимость  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и ускоряет коррозию. Из числа фосфорных удобрений агрессивен суперфосфат, состоящий в основном из монокальциевого фосфата  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  и гипса, но содержащий еще и некоторое количество свободной фосфорной кислоты.

*Коррозия под влиянием органических веществ.* Органические кислоты, как и неорганические, быстро разрушают цементный камень. Большой агрессивностью отличаются уксусная, молочная и винная кислоты. Жирные насыщенные и ненасыщенные кислоты (олеиновая, стеариновая, пальмитиновая и др.) также разрушают цементный камень. Поэтому вредны и масла, содержащие кислоты жирного ряда: льняное, хлопковое, а также рыбий жир. Нефть, нефтяные продукты (керосин, бензин, мазут, нефтяные масла) не представляют опасности для бетона, если они не содержат нефтяных кислот или соединений серы. Однако надо учитывать, что нефтепродукты легко проникают через бетон. Продукты разгонки каменноугольного дегтя, содержащие фенол, могут агрессивно влиять на бетон.

Коррозия третьего вида. Сульфоалюминатная коррозия возникает при действии на гидроалюминат цементного камня воды, содержащей сульфатные ионы:



Образование в порах цементного камня малорастворимого трехсульфатного гидросульфоалюмината кальция (этtringита) сопровождается увеличением объема примерно в 2 раза. Развивающееся в порах кристаллизационное давление приводит к растрескиванию защитного слоя бетона. Вслед за этим происходит коррозия стальной арматуры, усиление растрескивания бетона и разрушение конструкции. С сульфоалюминатной коррозией всегда надо считаться при строительстве морских сооружений. Вместе с тем могут оказаться агрессивными сточные воды промышленных предприятий, а также грунтовые воды. Если в воде содержится сульфат натрия, то вначале с ним реагирует гидроксид кальция



В последующем идет образование гидросульфоалюмината кальция вследствие взаимодействия получающегося сульфата кальция и гидроалюмината. Для борьбы с сульфоалюминатной коррозией применяется специальный сульфатостойкий портландцемент. Щелочная коррозия может происходить в двух формах: под действием концентрированных растворов щелочей на затвердевший цементный камень и под влиянием щелочей, имеющих в самом цементе. Если бетон насыщается раствором щелочи (едкого натрия или калия), а затем высыхает, то под влиянием углекислого газа в порах бетона образуется сода и поташ, которые, кристаллизуясь, расширяются в объеме и разрушают цементный камень. Сильнее разрушается от действия сильных щелочей цемент с высоким содержанием алюминатов кальция. Коррозия, вызываемая щелочами цемента, происходит вследствие процессов, протекающих внутри бетона между его компонентами. В составе цементного клинкера всегда содержится разное количество щелочных соединений. В составе заполнителей бетона, в особенности в песке, встречаются реакционноспособные модификации кремнезема: опал, халцедон, вулканическое стекло. Они вступают при обычной температуре в разрушительные для бетона реакции со щелочами цемента. В результате образуются набухающие студенистые отложения белого цвета на поверхности зерен реакционно-способного заполнителя, появляется сеть трещин, поверхность бетона местами вспучивается и шелушится. Разрушение бетона может происходить через 10-15 лет после окончания строительства.

### **2.11. Защита от коррозии, старения и биоповреждений**

Общим мероприятием по предотвращению коррозионных процессов в результате воздействия факторов, характеризующих состояние материала узла, системы, машины в целом, является рациональное конструирование. Признаки рационального конструирования:

1. соответствие коррозионной стойкости металлов и защитной способности покрытий агрессивности воздействующих сред в процессе эксплуатации;
2. отсутствие участков, способствующих накоплению влаги и труднодоступных для контроля; минимум разъемных соединений;
3. равномерность обработки поверхности узла и унификация защиты деталей от воздействующих сред;
4. отсутствие резких переходов при сопряжении поверхностей, глубоких проточек и отверстий;
5. отсутствие контакта разнородных металлов и металлов с полимерами или изоляция таких участков поверхности;
6. равномерность нагрузок на элементы конструкции с целью исключения коррозионно-усталостных явлений;
7. применение емкостей оригинальных конструкций, исключаящих влияние фазовых составляющих агрессивных продуктов;
8. возможность выполнения противокоррозионных мероприятий в процессе эксплуатации (удаление продуктов коррозии, восстановление покрытий, применение средств и способов дополнительной защиты);
9. возможность замены элементов конструкции в условиях эксплуатации и при ремонтно-техническом обслуживании без больших материальных затрат и снижения требований к эксплуатационным характеристикам.

При рассмотрении методов комплексной защиты возникают две группы задач. Первая – рациональный выбор и оптимизация метода защиты, вторая – обеспечение контроля и управления защитой.

При решении первой группы задач целесообразно: продолжить совершенствование методов защиты путем герметизации и осушки воздушных сред; разрабатывать методы, средства и устройства нейтрализации агрессивных компонентов в воздушных средах и на поверхности конструкций оборудования и сооружений; разрабатывать методы, средства и устройства ингибирования воздушных сред и поверхностей машин.

Применение различных систем комбинированных покрытий эксплуатируемых машин—один из путей создания защиты от коррозии, старения и биоповреждений. Особенно перспективны многофазные комбинированные покрытия, включающие ингибиторы коррозии и вещества многоцелевого назначения. Эти покрытия эффективны в условиях эксплуатации оборудования и сооружений с ограниченным обменом воздуха или замкнутым воздушным пространством. Для таких же условий возможно использование комплексной защиты — воздействием на среду.

При практическом решении второй группы задач целесообразно продолжать совершенствование методов контроля и управления ТВР; разрабатывать методы, средства и устройства контроля влажности поверхностей конструкций оборудования и сооружений с определением наличия, толщины, pH и равномерности распределения пленок влаги; создавать методы управления активной защитой от коррозии; разрабатывать устройства дистанционного контроля.

### **2.11.1. Методы защиты от коррозии**

Защита от коррозии представляет комплекс мероприятий, направленных на предотвращение и ингибирование коррозионных процессов, сохранение и поддержание работоспособности узлов и агрегатов машин, оборудования и сооружений в требуемый период эксплуатации.

Методы защиты металлоконструкций от коррозии основаны на целенаправленном воздействии, приводящем к полному или частичному снижению активности факторов, способствующих развитию коррозионных процессов. Методы защиты от коррозии можно условно разделить на методы воздействия на металл и методы воздействия на среду, а также комбинированные методы. Классификация методов представлена на рис. 1.4.

Среди первых наибольшее распространение получили методы нанесения покрытий постоянного действия и специальной электрохимической и химической обработки поверхностей металлов, из второй группы — методы полной или частичной герметизации с использованием поглотителей влаги (статическая осушка воздуха, очистка окружающей атмосферы от загрязнений, поддержание оптимальных температурных режимов).

Из краткой характеристики методов защиты металлов от коррозии видно, что защитные покрытия весьма распространены и заслуживают более подробного рассмотрения. Покрытия металлов классифицируют по назначению, виду, методу нанесения и времени эксплуатации (рис. 1.5).

По виду (исходя из физико-механических свойств и природы) покрытия делят на неорганические, органические и комбинированные.

По назначению покрытия подразделяют на защитные, декоративные и специальные. Назначение и существо защитных покрытий вытекает из самого названия—защищать поверхности металлов от агрессивного действия окружающей среды в реальных условиях эксплуатации машин, оборудования и сооружений. Декоративные покрытия применяют с целью придания изделию соответствующего внешнего вида, цвета, маскировочных или информационных свойств.

Специальные покрытия обеспечивают физико-механические и другие эксплуатационные свойства поверхностей (твердость, износостойчивость, термостойкость, электропроводность, оптические свойства и т. п.).

Как правило, покрытия выполняют одновременно несколько функций и поэтому деление их носит условный характер. Так, декоративные покрытия одновременно выполняют и защитные функции, а специальные покрытия почти всегда обладают определенными защитными и декоративными свойствами.

К неорганическим покрытиям относят металлические и неметаллические покрытия (конверсионные, стеклоэмалевые и др.). Металлопокрытия по объему применения в эксплуатации несколько уступают лакокрасочным покрытиям (ЛКП). Благодаря развитию электрохимии созданы металлические покрытия, обеспечивающие высокоэффективную долговременную защиту

конструкций машин от коррозии. Наиболее часто используют цинковые, кадмиевые, никелевые, медные, хромовые, оловянные, серебряные покрытия, а также покрытия сплавами (олово-свинец, олово-висмут, цинк-медь, цинк-никель и др.). Из неметаллических в технике нашли применение конверсионные покрытия (фосфатные, оксидные, оксидфосфатные, хроматные). К группе органических покрытий относят все разновидности ЛКП. Толщина их может изменяться от десятков до сотен микрон в зависимости от назначения. ЛКП — наиболее распространенные и достаточно эффективные покрытия, используемые для защиты металлоконструкций от атмосферной коррозии. Они применяются как защитно-декоративные и особенно эффективны в качестве внешнего слоя в комбинированных покрытиях.

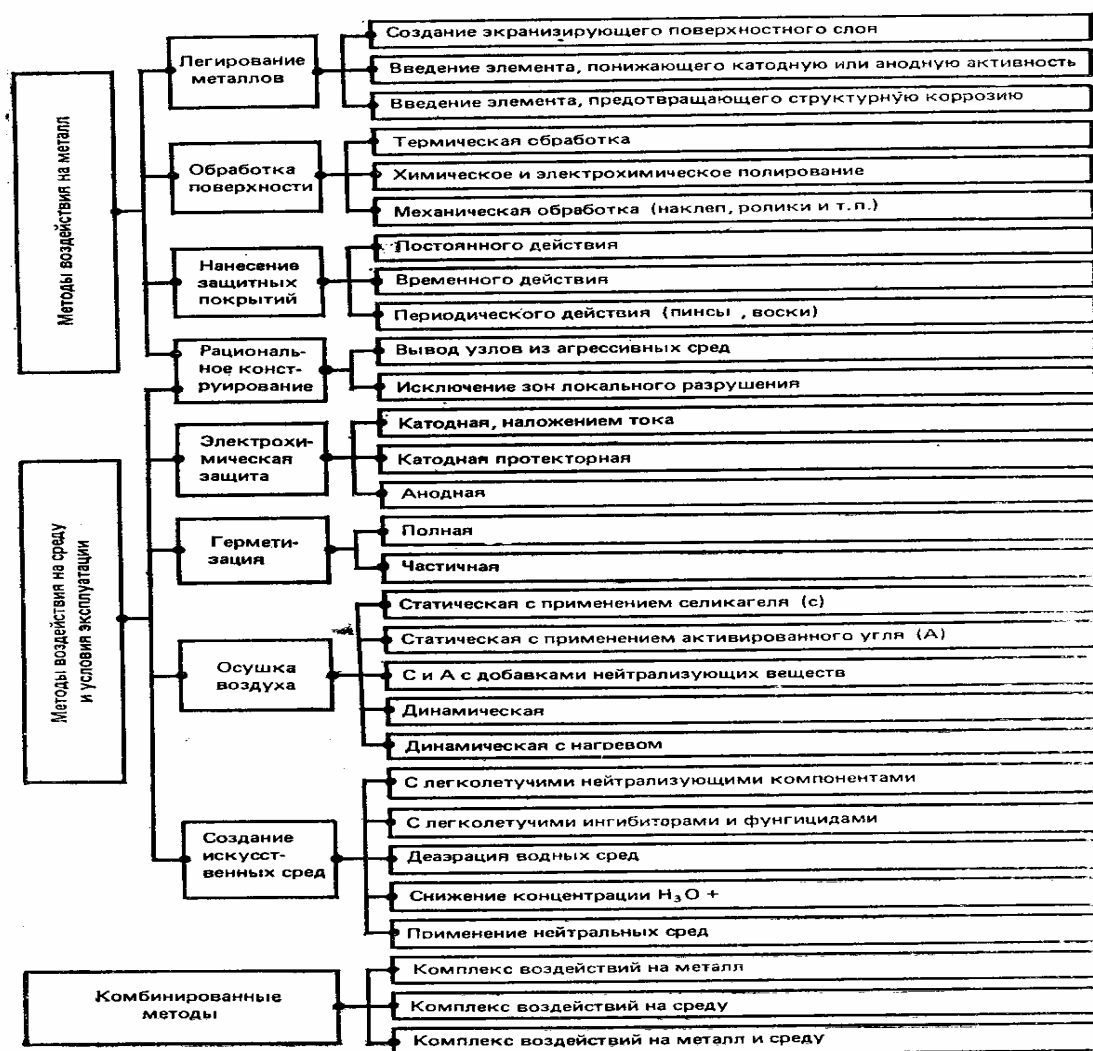


Рис.2.7.- Классификация методов защиты от коррозии

По периоду эксплуатации покрытия бывают **постоянными, временными и периодически возобновляемыми.**

Первые обычно наносят при изготовлении деталей машин. Временные покрытия применяют для защиты деталей при межоперационном хранении и на стадии производства и ремонта. Восстановление покрытий возможно в период ремонтно технического обслуживания. Такие покрытия относят к периодически возобновляемым.

По методу нанесения защитные покрытия делят на **физические, электрохимические и химические.**

К физическим относят покрытия, полученные методами **конденсации, плакирования, диффузии, механическими, вжигания, металлизации, катодного распыления, горячей обработки.** В производстве металлоконструкций их используют ограниченно (за исключением методов плакирования и механического). Например, нанесение полимерных покрытий осуществляют





1. рациональное научно-обоснованное применение существующих металлических и неметаллических материалов (сталей, титана, никеля, свинца, силикатов, углеграфитов, полимеров и др.);

2. разработка и внедрение новых дешевых неметаллических материалов с хорошими противокоррозионным и технологическими свойствами;

3. совершенствование конструкции и технологии нанесения противокоррозионных покрытий,

Наиболее эффективным средством для решения этой комплексной задачи является применение неорганических и органических защитных покрытий.

Защитные покрытия способны надежно защищать различное природоохранное и химическое оборудование и от воздействия жидких и газообразных агрессивных сред повышенной и пониженной температур. Кроме того, они позволяют эффективно заменять дорогостоящие и дефицитные цветные металлы и сплавы.

Однако следует учитывать, что универсальных материалов для изготовления защитных покрытий практически нет. Поэтому для обеспечения надежной противокоррозионной защиты химического оборудования и сооружений необходимо при выборе материалов, учитывать конструкцию аппарата и технологию нанесения покрытий.

### **2.12.1. НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИИ ХИМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

Покрытия как средства защиты от коррозии предназначаются для изоляции защищаемой поверхности от агрессивной среды, предупреждения деятельности микроэлементов и торможения анодных или катодных процессов на поверхности металла.

К защитным покрытиям предъявляются следующие требования:

- 1) сплошность и беспористость;
- 2) коррозионная стойкость и долговечность;
- 3) хорошая адгезия к подложке;
- 4) торможение возникающих коррозионных процессов на поверхности защищаемого металла;
- 5) простота технологии изготовления и нанесения на подложку материала покрытия.

Защитные противокоррозионные покрытия можно классифицировать по разным признакам:

1. По типу применяемого материала: пластмассовые, гуммировочные, лакокрасочные, силикатные, металлические и комбинированные.

2. По состоянию в момент поставки или по выпускаемой форме материала: монолитные (литьевые), пастообразные (замазки, мастики), пленочные, листовые, порошковые и в виде штучных материалов.

3. По деформационным свойствам: упругие (высокомодульные), упругоэластичные, эластичные и пластичные.

4. По теплостойкости: стойкие в диапазонах температур:  $50 \div 70^\circ\text{C}$ ;  $70 \div 100^\circ\text{C}$ ;  $100 \div 150^\circ\text{C}$ , выше  $200^\circ\text{C}$ .

5. По химической стойкости к различным средам: на химически стойкие, относительно стойкие и нестойкие покрытия.

6. По методам нанесения: обкладкой и оклейкой поверхности листовыми и пленочными материалами, а также штучными материалами на специальных замазках; в виде жидкостей или паст с последующим горячим или холодным отверждением ручным способом (кистью, шпателем, лопаткой и т. п.) или механизированным способом (пневматический, безвоздушный и т. п.); в виде порошков — механизированным способом.

7. По типу защищаемого оборудования и условиям его эксплуатации: для емкостной аппаратуры; для трубопроводов; для металлоконструкций; для железобетонных емкостей; для полов и т. п.

8. В зависимости от условий эксплуатации химического оборудования и сооружений: простые, усиленные и весьма усиленные защитные покрытия, отличающиеся по числу слоев (толщине), наличию эластичной и армирующих прослоек, слоя футеровки штучными материалами и т. п.

### 2.12.2. Выбор вида защитного покрытия

Выбор вида защитного покрытия определяется многими факторами: назначением оборудования (емкостные, теплообменные или реакционные аппараты, печи, газоходы и т. д.), габаритами и местом установки (в помещении или на открытых площадках), наличием внутренних устройств (мешалок, перегородок, опор, тарелок и т. д.), стойкостью применяемых для защиты материалов к агрессивным средам. Последний фактор является определяющим, при этом следует учитывать состояние агрессивной среды (газообразная сухая, газообразная с возможным образованием конденсата, жидкая), начальную и конечную концентрацию компонентов, температуру, рабочее давление, наличие абразивных примесей, возможность солеобразования.

Широкое применение для защиты оборудования находят **футеровочные** и комбинированные защитные покрытия. Различают футеровку по назначению: огнеупорная, теплоизоляционная и химически стойкая. Последняя обычно включает непроницаемый подслоу и футеровку штучными кислотоупорными материалами на различных химически стойких вяжущих.

**Лакокрасочные** материалы применяют для защиты оборудования от воздействия агрессивных газов или крышек крупногабаритного наливного оборудования, эксплуатирующегося в слабоагрессивных средах. Если требуется повышенная механическая прочность, используют армированные стеклотканью или другими армирующими тканями покрытия.

**Гуммирование** (от лат. *gummi*–камень)–покрытие резиной рабочей поверхности химической аппаратуры, трубопроводов, цистерн, емкостей, металлических деталей для предохранения от коррозии и действия агрессивных сред. Гуммирование является одним из широко используемых способов защиты оборудования от коррозии, кавитационных, эрозионных и других видов воздействий, приводящих к разрушению материалов. Эти покрытия удовлетворяют требованиями, предъявляемыми к материалам, из которых изготавливается оборудование: стойкость к воздействию агрессивных сред, эластичность, виброустойчивость, водогазонепроницаемость и т. д. При использовании гуммированного оборудования достигается значительная экономия дефицитных и дорогостоящих металлов и их сплавов. Гуммировочные покрытия обеспечивают защиту оборудования от воздействия различных сильноагрессивных сред при температуре до 60÷70 °С, а при использовании резин специальных марок и до 90÷100 °С.

Для защиты ванн (гальванических и электролизных), небольших химических аппаратов находят применение листовые **полимерные материалы**: пластикат, фторопласт, полиолефины, пентапласт и др. Они имеют высокую химическую стойкость, непроницаемость, и их применение позволяет увеличить реакционный объем оборудования, обеспечить требуемую чистоту выпускаемого продукта.

С целью защиты от коррозии и действия высоких температур широко используется **эмалирование** –получение на металлах и сплавах эмалевых покрытий на основе стеклообразующих материалов. Эмаль (франц. *email*, от франкск., *smeltan*–плавить), стеклоэмаль, преимущественно глухие (непрозрачные), окрашенные в различные цвета окислами металлов, легкоплавкие стекла, наплавляемые одним или несколькими тонкими слоями (эмалирование) на металл. Эмалями часто называют также легкоплавкие глухие белые или окрашенные глазури, применяемые для покрытия и художеств, росписи керамических и стеклянных изделий.

Также часто используют для защиты от коррозии химически **стойкие бетоны**, покрытие металлов их слоем других металлов. Покрывающие металлы сами корродируют с малой скоростью, так как покрываются плотной оксидной пленкой.

### 2.12.3. ПОДГОТОВКА ПОВЕРХНОСТИ АППАРАТОВ

Согласно ГОСТов и СНиП металлическую поверхность оборудования перед получением покрытия следует очищать от ржавчины и окалина до второй–четвертой степени очистки:

вторая степень–при осмотре поверхности невооруженным глазом окалина или ржавчина не видны;

третья–не более чем на 5 % поверхности имеются пятна и полосы прочно сцепленной окалина, точки ржавчины, видимые невооруженным глазом; при перемещении по поверхности прозрачного квадрата размером 25х25 мм на каком-либо одном участке окалиной или ржавчиной занято не более 10 % площади квадрата;

четвертая—не более чем на 20 % поверхности имеются пятна или полосы прочно сцепленной окалины и ржавчины; при перемещении по поверхности прозрачного квадрата размером 25x25 мм на каком-либо одном участке поверхности окалиной и ржавчиной занято до 30 % площади квадрата.

До второй степени очищают поверхность под гуммировочные покрытия, а также под защитные покрытия на основе синтетических связующих. При использовании природных смол и жидкого стекла для покрытий металлическую поверхность очищают до третьей, а битумно-рубероидной изоляции — до четвертой степени.

Поверхность металла под гуммирование и эмалирование не должна иметь раковин, трещин, забоин и других подобных дефектов. Дефектные места следует устранять наплавкой металлом с последующей зачисткой.

Подготовка поверхности стального оборудования включает следующие операции: срезку временных монтажных приспособлений (скоб, углов, прутков); устранение задиров, кромок радиусом менее 0,3 мм, наплывов металла; зачистку сварных швов; очистку поверхности от жировых загрязнений, окалины, ржавчины; обезжиривание, сушку и обеспыливание сухим и чистым сжатым воздухом.

Очистку от жировых загрязнений (смазок, замазливателей) или ранее нанесенного покрытия проводят щетками, скребками или промывкой водой, а обезжиривание—органическими растворителями. Из существующих способов очистки от ржавчины оптимальным является пескоструйный, позволяющий очищать металл толщиной не менее 3 мм и удалять окалину. При этом очищенная поверхность имеет равномерную шероховатость. Для очистки используют стальной высококремнистый песок, металлическую дробь или кварцевый песок (лучше горный). Кварцевым песком, образующим вредную силикатную пыль, разрешается очищать только открытые поверхности. При небольших объемах работ поверхность стального оборудования допускается очищать ручным механизированным инструментом—электро- или пневмошли-фовальными машинами, а в исключительных случаях (например, для зачистки сварных швов)—стальными щетками и скребками. Очищенную поверхность обеспыливают с помощью волосяной кисти или пылесоса.

Кроме описанного выше способа для очистки металлической поверхности можно применять гидropескоструйный, химический, термический или другие способы. Гидropескоструйный способ заключается в обработке металлической поверхности суспензией абразива в воде в соотношении от 1:6 до 1:1. Термический способ состоит в быстром нагревании очищаемой поверхности пламенем кислородно-ацетиленовой горелки или паяльной лампы и последующем охлаждении. Химический способ заключается в обработке поверхности оборудования травильными растворами, пастами или очистке преобразователями (модификаторами) ржавчины.

Подготовка поверхностей бетонного и железобетонного оборудования и сооружений включает следующие операции: закругление наружных и внутренних острых углов (радиусом менее 10 мм) срезкой или заполнением пустот цементно-песчаным раствором; очистку от пыли, грязи, масляных пятен, сушку до воздушносухого состояния (влажность не более 5÷6%), обеспыливание.

Для очистки используют проволочные щетки или механизированный инструмент, для обеспыливания—промышленный пылесос. Подготовка поверхности железобетонных наливных сооружений проводят после проверки их на прочность и герметичность наливом водой. При наличии дефектов очищают бетонную поверхность и заделывают дефекты строительным раствором. В особо ответственных случаях рекомендуется применять полимерцементные растворы (с добавкой поливинилацетатной эмульсии), обеспечивающие высокие прочностные свойства, сцепление с бетонной поверхностью и стойкость покрытий к ударным нагрузкам. При подготовке поверхности, ранее подвергавшейся воздействию агрессивных сред, ее предварительно тщательно нейтрализуют щелочным раствором или 4÷5%-ным раствором кальцинированной соды, промывают чистой водой и высушивают.

#### **2.12.4. ФУТЕРОВАНИЕ**

**Футеровка** (от нем. Futter-подкладка)—защитная внутренняя облицовка (из кирпичей, плит, блоков, а также набивная и др.) тепловых агрегатов, печей, топок, труб, ёмкостей, реакторов, аппаратов и т. д. К силикатным покрытиям, широко применяемым в химической

промышленности, относятся покрытия на основе штучных силикатных материалов (кислотоупорные **футеровки** и **облицовки** штучными материалами).

Область применения футеровок–антикоррозионная защита внутренней поверхности оборудования, аппаратуры, емкостных сооружений, работающих в условиях высокоагрессивных сред (кислот, щелочей, солей), повышенных температур и механических воздействий.

Область применения кислотоупорных облицовок – защита от коррозии железобетонных и бетонных поверхностей (лотков, природоохранного оборудования, каналов, прямков, полов, фундаментов и т.п.), работающих в условиях агрессии, от слабых до сильных концентраций в сочетании с механическими и температурными воздействиями.

Для футеровок и облицовок используются штучная (Рис. 2.9.) кислотоупорная керамика (плитка, кирпич и др.), диабазовое и базальтовое литье (плитка, фасонные изделия), углеграфитовые материалы (блоки, плитка, фасонные изделия). Эти покрытия представляют собой многослойные системы, получаемые нанесением па заранее подготовленную поверхность слоя вяжущего материала (замазки), а затем футеровочных плиток или кирпича. Замазка образует подплиточный слой толщиной 5÷8 мм и заполняет швы между плитками. Футеровочные штучные материалы укладывают в один, два и более слоев.

Для укладки штучных материалов используются замазки на жидком стекле (натриевом или калиевом), а также замазки на основе синтетических смол (феноло-формальдегидные, фурановые, эпоксидные, полиэфирные).

Конструкция футеровок и облицовок в 95% случаев предусматривает выполнение непроницаемого химически-стойкого подслоя, для которого футеровка является «броневой» защитой от механических и температурных воздействий.

Для непроницаемого подслоя используются:

- пластины полиизобутилена ПСГ;
- синтетические смолы армированные стекловолокнистыми материалами;
- листовые и мастичные материалы на основе синтетических и натуральных каучуков и латексов.

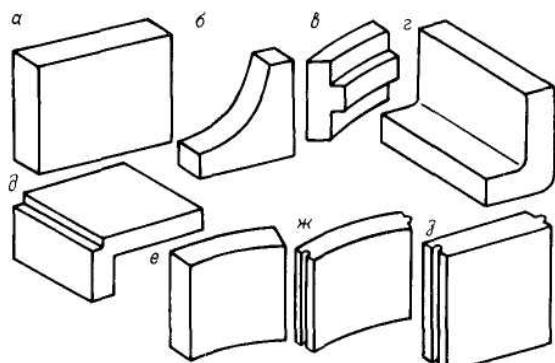


Рис. 2.9. Фасонные и крупноблочные изделия:  
а – прогон; б–плитка для круглых отверстий;  
в–плитка для опоры тарелок; г–угловая; д–для облицовки прямков, лотков и каналов;  
е–лекальная; ж–лекальная шпунтованная;  
з–прямая шпунтованная.

Для футеровки применяют кислотоупорные керамические кирпичи и плитки, а также плитки на основе плавленных силикатных материалов. Кроме силикатных материалов используют также плитки и блоки на основе графита и антегмита. Керамические кислотоупорные кирпичи и плитки получают из природных силикатных материалов, в основном из глины с некоторыми добавками, путем формования и последующего обжига. Керамические кислотоупорные кирпичи, обожженные до спекания, характеризуются плотным черепком, высокой механической прочностью, газонепроницаемостью и химической стойкостью к действию минеральных и органических кислот и их смесей при высоких температурах.

К группе плавленных силикатных материалов относятся диабазовые и базальтовые плитки (каменное литье), ситалловые и шлакоситалловые плитки. Изделия из каменного лптя при обычных и высоких температурах устойчивы против действия всех кислот, кроме плавиковой.

При обычных температурах они также щелочеустойчивы. Наряду с высокой химической стойкостью каменное литье обладает высокой износостойкостью.

Углеродистые материалы обладают значительной пористостью (до 30%), поэтому изделия

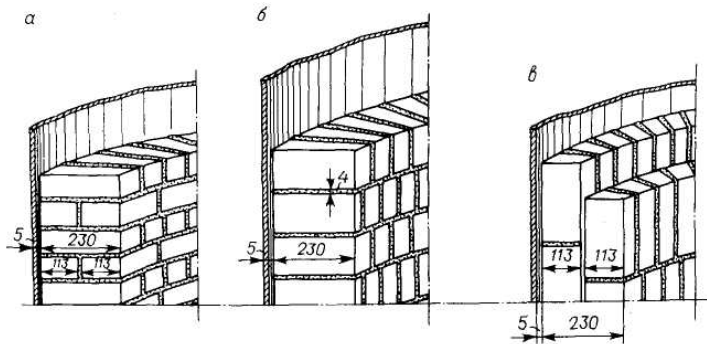


Рис. 2.10. Схемы кладки кислотоупорного кирпича при футеровке цилиндрических аппаратов: *а* – диаметром более 4 м; *б* – диаметром до 4 м; *в* – диаметром до 3 м.

из них пропитывают растворами на основе фенолоформальдегидных смол, силиконовыми жидкостями и др. Кроме пропитанного графита, известен также антегмит, который представляет собой прессовочный порошок, изготовленный на основе искусственного графита и фенолоформальдегидной смолы. Порошок перерабатывается в плитки прессованием при повышенных температурах и давлениях. Антегмит отличается химической стойкостью в сильно агрессивных средах, в том числе плавиковой кислоте.

Выбор схемы футеровочного покрытия определяется условиями эксплуатации оборудования. Оборудование, эксплуатирующееся в условиях газообразной агрессивной среды без образования конденсата или в условиях воздействия ряда жидких веществ, защищают фасонной керамической плиткой на силикатной замазке. В более агрессивных средах аппараты футеруют фасонной керамической плиткой на силикатной замазке по непроницаемому подслою (полиизобутилену).

При наличии в агрессивной среде примесей фторсодержащих соединений для защиты используют углеродистые изделия (Рис. 2.11).

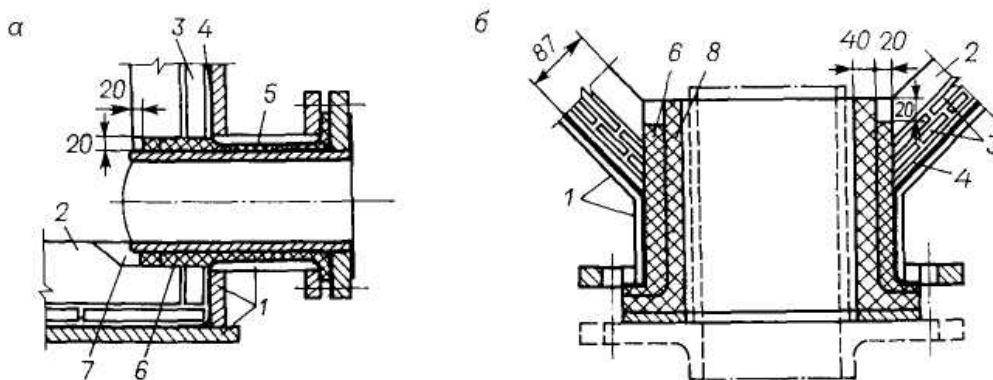


Рис. 2.11. Схемы защиты сливных штуцеров в аппаратах, футерованных углеродистыми материалами: *а* – в аппаратах с плоским дном; *б* – в аппаратах с коническим дном; 1 – корпус, днище и штуцер из углеродистой стали; 2 – блоки из углеродистых материалов на кислотостойкой замазке; 3 – плитка АТМ на кислотостойкой замазке; 4 – непроницаемый подслоу; 5 – вкладыш стальной гуммированный на кислотостойкой замазке; 6 – шнур асбестовый с кислотостойкой замазкой; 8 – разделка кислотостойкой замазкой; 8 – вкладыш графитовый.

При футеровке цилиндрических аппаратов диаметром до 4 м для обеспечения радиуса кривизны укладывают последовательно три клиновых торцовых и один прямой кирпич, а в аппаратах диаметром 6 м – один клиновой торцовый и один прямой.

Крупноблочные керамические материалы применяют при кладке внутренних несущих конструкций опор под насадку в аппаратах башенного типа.

В рабочих чертежах, как правило, дают раскладку фасонных изделий, при этом особое значение придают правильному конструктивному оформлению узлов входа штуцеров.

Пример раскладки блоков обрешетки в зоне входа штуцеров диаметром 300–600 мм показан на рис. 2.12. Конструкция узла сочетания футеровки обечайки оборудования с несъемной крышкой приведена на рис. 2.13. Зазоры между последним кольцом футеровки обечайки и несъемной крышкой должны разделяться шнуром асбестом на соответствующем вяжущем.

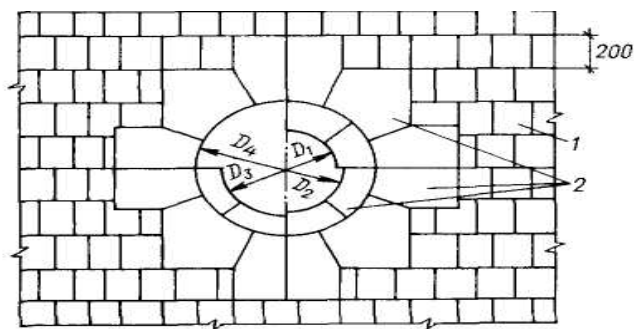


Рис. 2.12. Раскладка фасонных кислотоупорных изделий в зоне защиты штуцеров: 1 — прямая шпунтованная плитка; 2 — блоки обрамления штуцеров.

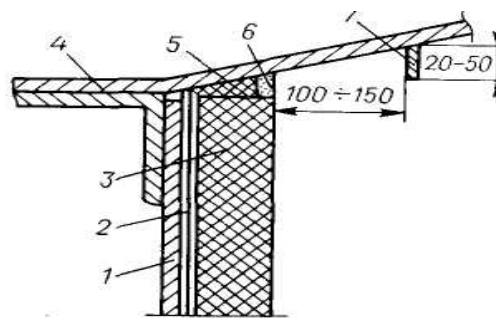


Рис. 2.13. Узел защиты стыка корпуса и несъемной крышки из коррозионно-стойкой стали: 1 - корпус из углеродистой стали; 2 - непроницаемый подслой; 3 - футеровка корпуса; 4 - крышка несъемная из коррозионно-стойкой стали; 5 - шнур асбестовый с кислотостойкой замазкой; 6 - разделка кислотостойкой замазкой; 7

Как показывает анализ, химическое оборудование, футерованное штучными материалами, по сравнению с другими видами покрытий, занимает первое место как по защищаемой площади (65-70%).

#### 2.12.5. ЛАКОКРАСОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

**Лакокрасочные покрытия** представляют собой многослойные системы, состоящие из грунта и верхних кроющих слоев. В зависимости от состава пленкообразователей и пигментов лакокрасочные покрытия могут выполнять роль барьера, пассиватора и протектора. Поэтому их защитное действие обусловлено механической изоляцией защищаемой поверхности от внешней среды (аналогично защитному действию пластмассовых и гуммировочных покрытий) или химическим или электрохимическим взаимодействием покрытия с защищаемой поверхностью.

Покрытия на основе химически стойких лакокрасочных материалов обладают рядом ценных свойств. Они бесшовны, имеют достаточно высокое сцепление с металлической и бетонной поверхностью, просты в получении, относительно дешевы и легко возобновляемы. Лакокрасочные покрытия устойчивы к действию агрессивных газов, минеральных кислот слабых концентраций, щелочей, солей. По сравнению с пластмассовыми и гуммировочными покрытиями лакокрасочные покрытия имеют более высокую паро-, газо- и водонепроницаемость и ограниченную теплостойкость. Поэтому лакокрасочные покрытия применяются главным образом для наружной защиты химического оборудования и сооружений и в меньшей степени в качестве внутреннего защитного покрытия, находящегося в постоянном контакте с агрессивной средой. Химически стойкие лакокрасочные материалы применяют для защиты оборудования химической водоподготовки, резервуаров хранения нефти и нефтепродуктов, очистных сооружений.

Улучшения свойств покрытий на основе лакокрасочных материалов достигают их армированием различными тканями, применением густовязких, наполненных и совмещенных композиций, сочетанием лакокрасочного и металлизационного покрытий. Широко применяют лакокрасочные, в том числе армированные покрытия в качестве непроницаемых подслоев под футеровку.

Из большой группы существующих лакокрасочных материалов для защиты от коррозии оборудования и сооружений предприятий химической промышленности в основном используют эпоксидные, фторопластовые и эпоксидно-фторопластовые реже применяют покрытия на основе перхлорвиниловых смол, хлор- и циклокаучука, хлорсульфированного полиэтилена.

#### 2.12.6. Гуммировочные покрытия.

Серийные гуммировочные материалы изготовляют на основе натурального и синтетических (изопренового, хлоропренового, бутадиенового, бутадиенстирольного и др.) каучуков.

Кроме каучуков в гуммировочную резиновую смесь входят и другие ингредиенты: наполнители, вулканизирующие агенты, пластификаторы, стабилизаторы и противостарители. Такие смеси называют невулканизованными («сырыми»).

Гуммирование может выполняться различными методами:

- методом горячего крепления, по которому сырую (невулканизованную) гуммировочную обкладку крепят к металлу в процессе ее совместной вулканизации с пленкой клея горячего отверждения;
- методом холодного крепления, по которому вулканизованную обкладку крепят к металлу клеем холодного отверждения;
- нанесение на защищаемую поверхность растворов из резиновых смесей и мастик.

Изделия гуммируют следующими способами:

- а) оклейкой (обкладкой) невулканизованными листами резиновой или эбонитовой смеси, нанесением резиновой смеси в виде пасты, раствора и т. п. с последующей вулканизацией;
- б) нанесением латексов, которые образуют покрытия в результате коагуляции;
- в) газопламенным и вихревым напылением порошкообразных резиновых смесей;
- г) применением вулканизованных вкладышей или оболочек, надеваемых на изделия. Для придания резиновой смеси эластичности, прочности и химической стойкости сырую резину вулканизируют. Основным вулканизирующим агентом является сера. При вулканизации сера присое-

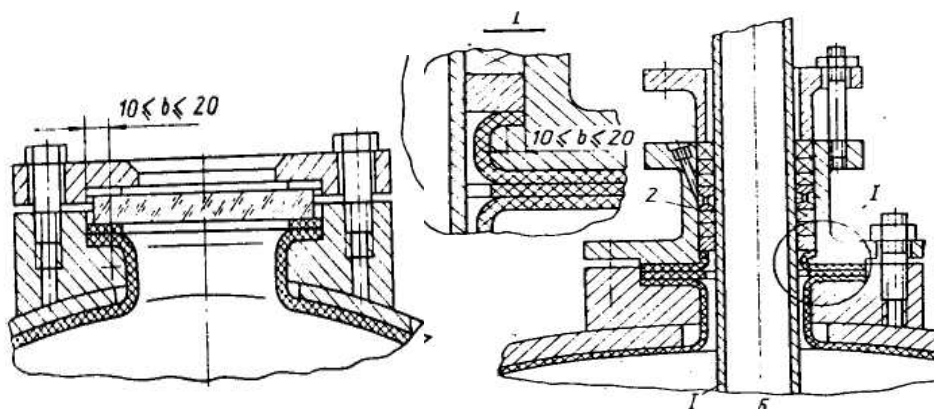


Рис. 2.14. Привалочная плоскость: а-смотрового окна; б-под сальник в уплотнениях вала мешалки: 1-вал мешалки; 2-корпус сальника

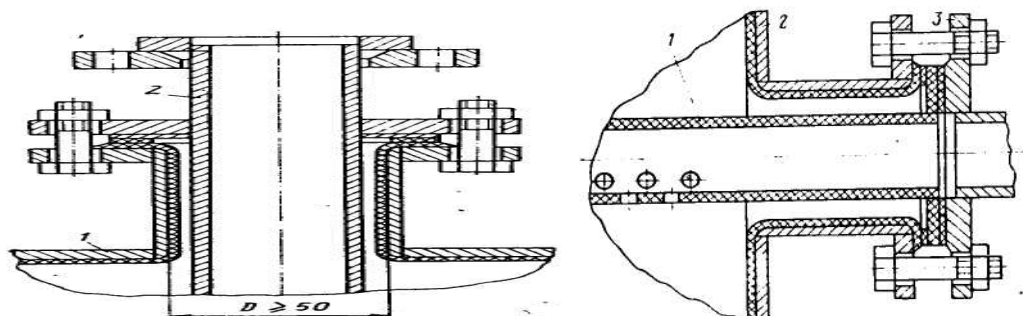


Рис. 2.15. Крепление трубки термометра к аппарату: 1-аппарат; 2-трубка термометра

Рис. 2.16. Крепление брызгала к корпусу конденсатора смешения: 1-брызгало; 2-корпус; 3-трубопровод

диняется по месту непередельных связей в молекулах каучука, за счет чего происходит структурирование (сшивание), т. е. образование пространственной трехмерной структуры, обуславливающей прочность, определенную твердость и эластичность получаемого материала-резины. В зависимости от содержания серы получают резины той или иной твердости. Так, для изготовления мягкой резины вводят 0,8÷4% серы, твердой (эбонита)-30÷50% серы, полутвердой (полуэбонита)-12÷20% серы от массы каучука.



Сера пригодна для вулканизации не всех каучуков. Например, силиконовые и фторкаучуки вулканизируются пероксидами и гидропероксидами, которые при нагревании разлагаются с образованием свободных радикалов. Последние взаимодействуют с полимерными цепями каучука и способствуют их структурированию по месту неопределенных связей с образованием поперечных углеродных связей. В зависимости от марки резины или эбонита, принятого метода крепления резиновых обкладок к металлу вулканизацию осуществляют одним из следующих способов: в вулканизационных котлах или гуммируемых аппаратах под давлением; в гуммируемых аппаратах без давления (открытый способ).

В качестве теплоносителя наибольшее применение находит насыщенный водяной пар, ценным свойством которого является строго определенная температура конденсации при данном давлении, выдерживаемая в течение всего процесса. Однако образующийся конденсат частично вымывает отдельные составляющие резиновой смеси, вследствие чего ухудшаются физико-механические свойства и химическая стойкость покрытия. При вулканизации горячим воздухом коррозионная стойкость и срок службы гуммировочного покрытия повышается на 20÷25% по сравнению с вулканизацией насыщенным паром. Особенно это важно при эксплуатации резин и эбонитов в агрессивных средах при повышенной температуре. Режим вулканизации выбирается в зависимости от марки применяемой резиновой смеси и клея, толщины резинового покрытия и габаритов защищаемого оборудования.

Гуммировочные покрытия применяют в основном для защиты поверхности химического оборудования и сооружений от воздействия сред средней агрессивности (Рис. 2.14-2.16). Эти покрытия используют также в качестве эластичного и непроницаемого подслоя под футеровки штучными материалами для сильно агрессивных сред.

Покрытия на основе жидких резиновых смесей применяют в качестве самостоятельных (чаще всего при защите крупногабаритных газоходов и крышек реакционного и емкостного оборудования), а также как подслоя под футеровку. Латексные покрытия применяют только как подслоя.

При выборе конструкции гуммировочного покрытия определяют оптимальную толщину гуммировочного слоя и число слоев покрытия, а также устанавливают, какие гуммировочные материалы необходимо использовать для создания данного покрытия.

Большую часть оборудования гуммируют послойно, в два приема, с общей толщиной покрытия 6,0 мм. Для некоторых изделий или отдельных их частей, работающих на абразивный износ, толщину покрытия увеличивают.

Срок службы покрытий зависит от температуры и характера окружающей агрессивной среды. В благоприятных условиях покрытия сохраняют защитные свойства до 7 лет.

### **2.12.7. ЭМАЛИРОВАНИЕ**

Одним из способов защиты химического оборудования от воздействия коррозионных сред, в том числе и от воздействия окружающей среды, является эмалирование. В отличие от способов консервации эмалирование металла следует отнести к постоянному, длительно действующему способу антикоррозионной защиты.

Эмалирование—это многократное наплавление стекловидного материала, наносимого шликерным или пудровым методом, на поверхность металла при повышенных (760—900°C) температурах до получения сплошного покрытия. Сплошность покрытия контролируется электролитическим способом или высоковольтной дефектоскопией (напряжение до 20 кВ). Практикой установлено, что наиболее надежным в эксплуатации является стеклоэмалевое покрытие толщиной 0,8÷1,2 мм, достигаемой пяти-, шестикратным наплавлением.

Эмалевые покрытия относятся к силикатным покрытиям, представляющие собой бесцветные или окрашенные стекла, наплаваемые одним или несколькими слоями на металл. Основными компонентами почти всех эмалей являются оксиды кремния, бора, щелочных и щелочноземельных металлов, некоторые фториды, а также оксиды алюминия, свинца, цинка и др.

Эмали подразделяются на грунтовые и покровные. Грунтовые эмали применяют для наплавления промежуточного буферного слоя, прочно соединяющегося с металлической

поверхностью и компенсирующего градиент температурных коэффициентов линейного расширения металла и наплавленного слоя из покровной эмали.

Покровные эмали используют для наплавления антикоррозионного слоя покрытия, устойчивого в агрессивных средах в широком (от минус 40 до 300°C) интервале температур и давлений (от 0 до 1,6 МПа).

По функциональному назначению покровные эмали условно можно разделить на следующие группы:

- кислотостойкие, применяемые для защиты химического оборудования из стали и чугуна от воздействия кислых сред любой концентрации, за исключением плавиковой кислоты и ее производных;
- кислотостойкие с повышенной щелочестойкостью, применяемые для защиты химического оборудования из стали и чугуна от воздействия кислот любой концентрации, их солей и слабых растворов щелочей;
- универсальные, применяемые для защиты химического оборудования из стали и чугуна от воздействия переменных (кислота–щелочь) и нейтральных сред;
- специальные, самокристаллизующиеся в процессе наплавления или кристаллизующиеся при специальной термической обработке, с повышенными термомеханическими свойствами.

В производстве применяют также эмали, характеризующиеся повышенной электропроводностью; повышенной радиационной стойкостью; повышенной теплопроводностью; повышенной жаростойкостью; повышенной износостойкостью; пониженной склонностью к налипанию (антиадгезионные); повышенной морозостойкостью; повышенной поглощающей способностью тепла; повышенной отражающей способностью тепла, света; а также эмали для защиты от высокотемпературной коррозии легированных сталей; для защиты оборудования, эксплуатируемого в пищевой промышленности; технологические, разового действия для защиты металла от окисления при горячей штамповке и свободной ковке, для обезуглероживания поверхностного слоя изделий из стали и чугуна, для легирования поверхностного слоя металла, для защиты специальных металлов и сплавов от возгонки летучих составляющих и др.

Качество покрытия, нанесенного на поверхность металла методом эмалирования, в основном зависит от качества подготовки поверхности изделий к нанесению покрытия. Цель подготовки – тщательно очистить поверхность от жиров, ржавчины; удалить с поверхностного слоя неметаллические включения, плены, задиры; нормализовать (реставрировать) структуру металла в деформированных местах при ковке, вытяжке, штамповке и устранить напряжение растяжения–сжатия в сварных швах и околошовных зонах; придать поверхности определенную шероховатость и, если возможно, активировать ее.

При термообработке в интервале температур 650–900°C обеспечиваются выжигание жиров, окисление железа с образованием толстого рыхлого слоя окалина ( $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) и частичное обезуглероживание поверхностного слоя при наличии в печной атмосфере паров воды по реакциям типа:



Одновременно устраняются напряжения в металле, возникшие в процессе изготовления. После термической обработки поверхность металла подвергают механической очистке от всех загрязнений и дробеструйной обработке для придания ей шероховатости.

Более эффективным методом подготовки поверхности является абразивное шлифование на специальных установках с маятниковой головкой.

Такая подготовка позволяет обеспечить оптимальное сцепление стеклоэмалевого покрытия с металлической подложкой и его сплошность.

Качественное стеклоэмалевое покрытие поверхности узлов и деталей, подлежащих защите от воздействия агрессивных сред, можно получить методом многослойного наплавления при соблюдении следующих требований к конструкции этих узлов и деталей:

- устойчивость к пластическим деформациям и короблению при высокотемпературном нагреве под воздействием собственного веса конструкции;

- отсутствие разнотолщинности;
- отсутствие закруглений радиусом менее 5 мм;
- отсутствие замкнутых и других труднодоступных мест.

Обеспечение устойчивости к пластическим деформациям и короблению необходимо при конструировании крупногабаритных тяжеловесных деталей (корпуса реакторов, сборников, теплообменников, колонн и др.), которые неизбежно при эмалировании будут деформироваться в местах контакта с обжиговой оснасткой под действием собственного веса. Деформация днищ размером более 0,25% диаметра, не допускаемая правилами Гостехнадзора, способствует образованию в стеклоэмалевом покрытии пороков в виде заплавленных и даже незаплавленных разрывов, пузырей и так называемых «волосных линий», устранить которые возможно только при повторном эмалировании.

Разнотолщинность свыше 1:4 приводит к появлению градиентов температуры и скорости нагрева изделия, обуславливающих неравномерное наплавление стеклоэмалевого покрытия («пережог» или «недожог») и разрывов, пузырей и «волосных линий» в нем. Особенно часто такие дефекты наблюдаются в местах приварки воротников и компенсаторов паровых рубашек, вытяжек люков, штуцеров и в точках контакта изделия с обжиговой оснасткой. Отрицательное влияние разномасовости изделия на качество стеклоэмалевого покрытия устраняют методом экранирования

Материалом для экранов может служить листовая асбест или тонкая листовая сталь. Экран служит для выравнивания температуры нагрева (охлаждения) участков изделия, толщина которых в 2÷4 раза меньше толщины металла на других участках.

Эмалевые покрытия обладают высокой химической стойкостью во всех органических и неорганических средах, за исключением фтористых соединений и горячих концентрированных растворов щелочей. Поэтому они широко применяются в химической промышленности для противокоррозионной защиты стального и чугунного оборудования. К недостаткам эмалевых покрытий относятся сложность ремонта и ограниченная возможность эмалирования крупногабаритного оборудования.

#### 2.12.8. Пластмассовые покрытия.

Пластмассовые покрытия изолируют защищаемую поверхность (металла, бетона) от воздействия агрессивной среды. Эти покрытия применяют в основном для противокоррозионной защиты химического оборудования и сооружений, работающих в условиях воздействия сред сильной и средней агрессивности (пример на рис. 2.17).

Они могут быть на основе термопластичных (термопласты) и термореактивных (реактопласты) полимеров.

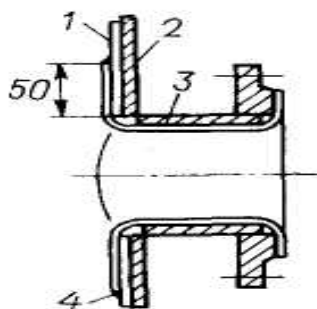


Рис. 2.17. Защита штуцера полимерными материалами: 1—обкладка корпуса полимерным материалом; 2—корпус из углеродистой стали; 3—защита штуцера полимерным материалом; 4—сварка сплошным швом по периметру.

В состав покрытий на основе термопластичных полимеров линейной структуры (полиэтилена, полипропилена, фторопласта, поливинилхлорида и др.) могут входить также наполнители, пластификаторы, стабилизаторы. Отличительной чертой термопластов является их способность размягчаться и плавиться при нагревании и вновь затвердевать при охлаждении, сохраняя свои первоначальные свойства. Термопласты применяются в основном в виде листовых и пленочных материалов для обкладки и оклейки химического оборудования и сооружений. Они находят также применение в виде мелкодисперсных порошков, суспензий, растворов и паст.

В состав покрытий на основе термореактивных полимеров входят олигомеры (смолы), отверждающиеся с образованием трехмерной структуры при нагревании под действием катализаторов (например, фенолоформальдегидные) или отвердителей (например, эпоксидные, ненасыщенные полиэфирные), а также пластификаторы и наполнители. По типу

наполнителей различают порошковые (содержащие кварцевую муку, измельченный графит, тальк и пр.), волокнистые (содержащие асбестовое, углеродное или стеклянное волокна) и слоистые (содержащие листовые наполнители типа ткани, бумаги, асбеста) покрытия.

Реактопласты применяются в основном в жидком и пастообразном виде (растворы, суспензии, замазки, мастики), реже—в виде порошков, листов и штучных материалов.

### 2.12.9. МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ

Материалом для *металлических покрытий* могут служить как чистые металлы (свинец, цинк, алюминий, никель, хром, мель и др.), так и их сплавы.

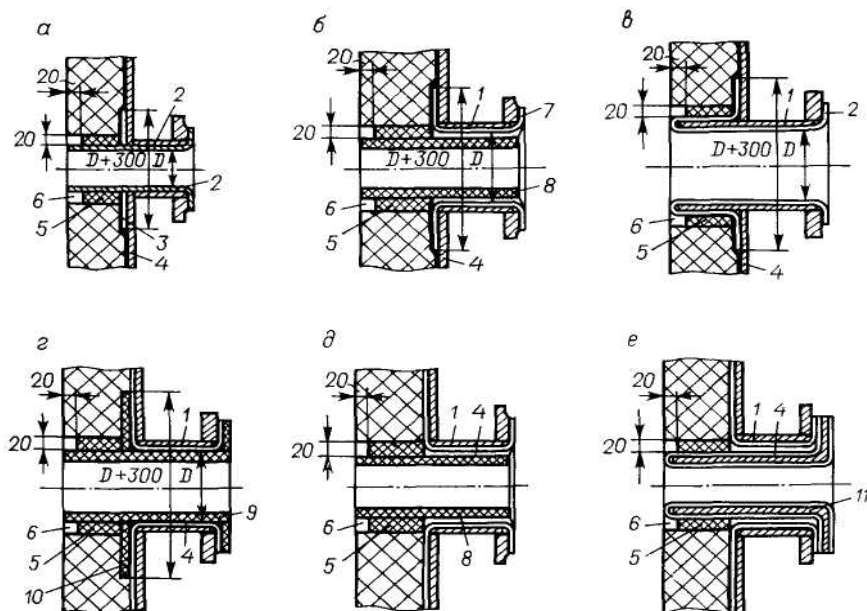


Рис. 2.18. Схемы защиты штуцеров: *а*—нержавеющей сталью; *б*—обкладкой листовым свинцом и керамическим вкладышем; *в*— обкладкой листовым свинцом; *г*— вкладышем из винипласта; *д*—керамическим вкладышем; *е*—стальным гуммированным вкладышем; *1*—корпус из углеродистой стали; *2*—вкладыш из нержавеющей стали; *3*—фартук вкладыша из нержавеющей стали; *4* непроницаемый подслей; *5*—шнур асбестовый с кислотостойкой замазкой; *6*—разделка кислотостойкой замазкой; *7*- обкладка листовым свинцом с припайкой к корпусу; *8*— вкладыш керамический на кислотостойкой замазке; *9*—вкладыш из винипласта; *10*—фартук вкладыша из винипласта; *11*—вкладыш стальной гуммированный на кислотостойкой замазке.

Среди многочисленных вариантов получения металлических покрытий в химической промышленности широкое применение находит свинцевание. Перспективным является также напыление металлов (цинка, алюминия и др.).

Противокоррозионную защиту химического оборудования свинцом и его сплавами производят в основном двумя методами: футеровкой листами и гомогенным свинцеванием. При футеровке листами для получения их надежного сцепления с защищаемой поверхностью применяют пайку. Гомогенное свинцевание заключается в наплавлении на защищаемые поверхности жидкого свинца. Полученное покрытие является более прочным даже при значительных вибрациях или ударах и не требует дополнительного крепления.

Несмотря на существующую тенденцию к замене покрытий на основе свинца пластмассовыми и гуммировочными покрытиями, роль свинцевания (и свинца как коррозионностойкого материала) еще очень велика.

*Напыление металлов* на защищаемую поверхность (металлизация) позволяет получить различные покрытия практически независимо от габаритов изделия, что очень важно для крупногабаритного химического оборудования и сооружений. При напылении металлов используются в основном газопламенный и электродуговой методы. При газопламенном

напылении источником тепловой энергии является пламя, образующееся в результате горения смеси кислород — горючий газ. В этом случае металл в виде проволоки, прутков или порошка нагревается до плавления и потоком газа наносится на защищаемую поверхность.

При электродуговом методе через направляющие электро-металлизатора непрерывно производится подача двух напыляемых проволок, между концами которых возбуждается электрическая дуга. Струя сжатого воздуха отрывает с электродов частицы расплавленного металла и уносит их к напыляемой поверхности. По сравнению с газопламенным напылением электродуговая металлизация обеспечивает лучшую прочность сцепления (адгезию) покрытия с защищаемой поверхностью и более производительна. Недостатком данного метода является то, что из-за существенных потерь напыляемого металла себестоимость этого метода по сравнению с газопламенной металлизацией выше.

На рис 2.18 представлены различные варианты защиты узлов аппаратов от коррозии.

### 3.0. ВЕНТИЛЯЦИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА

В производственных и других помещениях в воздух могут выделяться вредные для здоровья человека пары и газы, а также большое количество теплоты, влаги и пыли, которые повышают его температуру, влажность и запыленность, отрицательно влияют на самочувствие и состояние людей и ухудшают условия труда и отдыха. Повышение или понижение температуры человеческого тела всего на 1 °С в течение длительного времени ухудшают его самочувствие. Недостаточное поступление в организм человека кислорода вызывает у него слабость, тошноту, головокружение. Серьезными профессиональными заболеваниями являются силикоз и пневмококиоз, которые являются следствием длительного попадания в легкие угольной пыли и двуокиси кремния (пыль кварца, гранита, песчаника). Таким образом, воздушная среда на производстве практически всегда является потенциально опасной для человека, поскольку химический состав ее отличается от атмосферного воздуха.

Задачей вентиляционной техники и систем кондиционирования воздуха является забота о хорошем самочувствии человека в помещениях, что способствует сохранению его здоровья и высокой работоспособности на длительное время.

Под микроклиматом в вентиляции понимается постоянное поддержание определенной температуры, влажности и чистоты воздуха в помещении.

#### 3.1. Комфортность

Человеческое тело для нормальной жизнедеятельности обычно должно иметь температуру порядка 36,6°С. Поскольку обмен веществ в человеческом организме сопровождается постоянным выделением тепла, человек вынужден, в целях поддержания требуемой температуры своего тела, непрерывно отводить это тепло во внешнюю среду (окружающий воздух). Комплекс сложных физиологических процессов, поддерживающих постоянную температуру тела человека при изменении параметров микроклимата и при выполнении различной по тяжести работы, называют *терморегуляцией*. Тепловое взаимодействие человека с окружающей его средой именуют тепловым или температурным равновесием тела.

При этом особое значение придается осуществляемому через поверхность тела способу физического регулирования температуры, или наружной теплоотдаче.

Способы достижения теплового равновесия между человеком и окружающей средой:

Явное тепло, $Q_{св}$	Скрытое тепло (тепло водяного пара, $Q_{п}$ )
Конвекция путем отвода тепла с поверхности тела в окружающий воздух	Испарение воды с поверхности кожи
Теплопроводность через одежду	Выдох воздуха и водяного пара при дыхании

Тепловое излучение с поверхности тела на окружающие поверхности

Общая теплоотдача  $Q_{\text{общ}} = Q_{\text{СВ}} + Q_{\text{П}}$

Какое количество тепловой энергии  $Q_{\text{СВ}}$  (явной) и, соответственно,  $Q_{\text{н}}$  (скрытой) может быть отдано, зависит преимущественно от температуры окружающего воздуха  $t$  в помещении, степени активности (физической нагрузки) и одежды человека.

На работоспособность и состояние здоровья человека существенно влияют параметры производственного микроклимата, то есть *метеорологические условия на рабочем месте*.

Область внешних, легко поддающихся измерению параметров состояния воздуха (микроклимат),

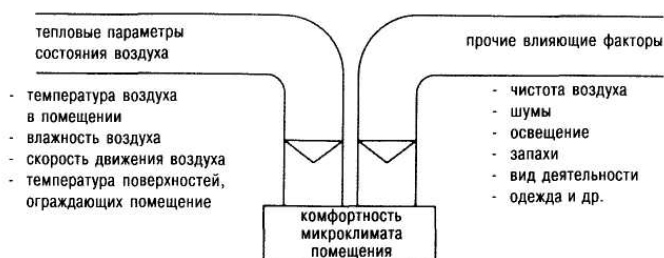


Рис. 3.1. Факторы, влияющие на комфортность помещения.

таких как его температура, влажность и скорость движения, при которых человек чувствует себя особенно хорошо, называют зоной комфортности. Кроме этого, необходимо принимать во внимание и достаточно большое число других факторов, например качество одежды, состояние здоровья, возраст человека, температуру ограждающих поверхностей, уровень шума, наличие запахов и загрязняющих воздух примесей, дизайн помещений и т.д. (рис. 3.1).

Температура воздуха в помещении играет решающую роль в деле общей отдачи тепла человека окружающей среде. Зимой по причине использования более теплой одежды величина  $t$  может устанавливаться ниже, чем летом.

В России для производственных помещений нормируются (соответствующие ГОСТы и СанПиН) в зависимости от тяжести и продолжительности труда, времени года, климатической зоны, следующие показатели:

- температура воздуха;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового излучения;
- содержание вредных веществ в рабочей зоне;
- содержание пыли или аэрозоли в рабочей зоне;
- аэроионного состава воздуха;
- шум.

Причем эти требования к микроклимату производственных помещений отличаются от соответствующих требований для рабочих мест в подземных и горных выработках, в транспортных средствах, животноводческих и птицеводческих помещениях, холодильниках, помещениях для хранения сельскохозяйственных продуктов и складах.

Для открытых рабочих мест, то есть расположенных под открытым небом, параметры микроклимата не нормируются, т.к. практически не подлежат управлению, но зато нормируется время и продолжительность работы.

Под *оптимальными микроклиматическими условиями* понимают такие сочетания метеорологических параметров, которые при длительном и систематическом воздействии на человека обеспечивают сохранение нормального функционального и теплового состояния организма без напряжения механизма терморегуляции. Они обеспечивают ощущение теплового комфорта и создают предпосылки для хорошей работоспособности.

*Допустимыми микроклиматическими условиями* называют такие сочетания метеорологических параметров, которые при длительном и систематическом воздействии на человека могут вызывать преходящие и быстро нормализующиеся изменения функционального и теплового состояния организма, а также напряжение работы механизма терморегуляции, не выходящие за пределы физиологических приспособительных возможностей. При этом не возникает повреждений или нарушений состояния

здоровья, но могут наблюдаться дискомфортные теплоощущения, ухудшение самочувствия и понижение работоспособности.

Наиболее благоприятное сочетание параметров внутреннего воздуха в помещении (оптимальные условия) обычно создается системами кондиционирования воздуха. Однако в некоторых случаях, применяя рациональное регулирование систем вентиляции помещений, можно получить оптимальные условия.

Параметры воздуха, соответствующие оптимальным и допустимым условиям, зависят от периода года (теплый, холодный), от тепловой характеристики помещения и от тяжести выполняемой в нем работы.

При тяжелой физической работе температура воздуха в помещении должна быть соответственно ниже. В зависимости от вида деятельности человека она может составлять от 10 до 18°C.

Часть своего тепла в виде теплоты парообразования  $Q_n$  (скрытое тепло) люди всегда отдают в окружающую атмосферу. Но это означает, что находящийся в помещении воздух должен обладать поглощающей способностью по отношению к выделяемому человеком водяному пару. Поэтому для комфортных условий для человека рекомендуемая относительная влажность воздуха  $\phi_r$  (ориентировочное значение) должна быть в диапазоне от 40 до 60% в зависимости от внешних условий.

Скорость потока воздуха в закрытых помещениях оказывает столь мощное влияние на самочувствие человека, что этот фактор едва ли можно переоценить. Сквозняки, вызываемые слишком холодным или чересчур быстро подаваемым воздухом, остаются наиболее частой причиной недовольства работой такого оборудования. Поэтому при нормальных температурах (20...22°C) в качестве допустимой скорости движения воздуха в помещении принимается величина примерно 0,1 до 0,2 м/с. Выбор скорости воздуха в зоне пребывания людей (обитаемой среде помещений) зависит также и от назначения того или иного помещения. Так, в среде с высокой активностью работающих там людей или в горячих цехах допускается более интенсивное движение воздуха.

Нормируемыми показателями аэроионного состава воздуха, отклонения от которых могут привести к неблагоприятным последствиям для здоровья человека, в производственных и общественных помещениях являются:

- концентрации аэроионов (минимально допустимая и максимально + - допустимая) обеих полярностей  $p_o^+$ ,  $p_o^-$ , определяемые как количество аэроионов в одном кубическом сантиметре воздуха (ион/см<sup>3</sup>);
- коэффициент униполярности  $U$  (минимально допустимый и максимально допустимый), определяемый, как отношение концентрации аэроионов положительной полярности к концентрации аэроионов отрицательной полярности.

Значения нормируемых показателей концентраций аэроионов и коэффициента униполярности приведены в таблице 3.1. Минимально и максимально допустимые значения нормируемых показателей определяют диапазоны концентраций аэроионов обеих полярностей и коэффициента униполярности,

Таблица 3.1.-Нормируемые показатели аэроионного состава воздуха

Нормируемые показатели	Концентрация аэронов, $p_0$ (ионов/см <sup>3</sup> )		Коэффициент униполярности, $u$
	Положительной полярности	Отрицательной полярности	
Минимально допустимые	$p_o^+ \geq 400$	$p_o^- > 600$	0,4 $\leq$ $U$ < 1,0
Максимально допустимые	$p_o^+ < 50\ 000$	$p_o^- \leq 50\ 000$	

### 3.2. Принципы вентиляции и кондиционирования

**Вентиляция** (от лат. ventilatio—проветривание, от ventilo—вею, махаю, дую)—обмен воздуха в помещениях для удаления избытков теплоты, влаги, пыли, вредных и других веществ с целью обеспечения допустимых метеорологических условий и чистоты воздуха в обслуживаемой или рабочей зоне, т.е. она служит для создания воздушной среды, благоприятной для здоровья человека, а также отвечает требованиям технологического процесса, сохранности оборудования и

строительных конструкций материалов, продуктов и т. д.

**Кондиционирование воздуха (КВ)**—автоматическое поддержание в закрытых помещениях всех или отдельных параметров воздуха (температуры, относительной влажности, чистоты, скорости движения) с целью обеспечения главным образом оптимальных метеорологических условий, наиболее благоприятных для самочувствия людей (комфортное КВ), ведения технологического процесса или обеспечения сохранности ценностей культуры (технологическое КВ) с лимитированием средней необеспеченности для каждого класса систем кондиционирования воздуха.

Обязательным условием в цехах по производству точных приборов, приборов радиоэлектроники и аналогичной им продукции является чистота воздуха, так как даже попадание мельчайших пылинок может нарушить нормальную работу механизмов или привести к браку продукции. Такие цехи обязательно оборудуются системами кондиционирования с установками для сверхтонкой очистки воздуха. Без создания искусственного климата невозможно производить некоторые строительные материалы (стеклянные нити, стекловолокно), а также обеспечить нормальную работу автоматических устройств на многих производствах. Установками КВ оборудуют цехи заводов по производству электронных изделий, синтетических волокон и др. Эти установки создают искусственный климат при выполнении ряда технологических процессов: формировании структуры полимерных материалов, прядении, сушке и т. п. При отклонении от заданных параметров воздушной среды (температуры, относительной влажности, чистоты и скорости движения воздуха) в рабочей зоне производственных цехов может резко ухудшиться качество продукции (эластичность, прочность, устойчивость к истиранию и т. п.).

Таким образом вентиляция—это регулируемый воздухообмен. В этом существенное отличие вентиляции от кондиционирования. Кондиционирование увеличивает качество воздуха за счет обработки воздуха, а вентиляция—за счет его смены в помещении.

Основными компонентами комплексного обеспечения микроклимата являются отопление, вентиляция и кондиционирование. В "чистом виде" каждая из этих компонент встречается редко. Наилучший эффект достигается, если все три компонента работают в комплексе.

### **3. 3. КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ.**

При всем многообразии систем вентиляции, обусловленном назначением помещений, характером технологического процесса, видом вредных выделений и т. п., их можно классифицировать по следующим характерным признакам:

- По характеру выпуска загрязняющих веществ в атмосферу: сосредоточенная и рассредоточенная;
- По способу перемещения воздуха: естественная (гравитационная) или механическая (искусственная или принудительная) система вентиляции;
- По назначению: приточная, вытяжная, аварийная, противодымная, аспирационные системы вентиляции, воздушное отопление и пневмотранспорт;
- По зоне обслуживания: местная или общеобменная система вентиляции;
- По конструкции: наборная или моноблочная система вентиляции;
- По устройству: канальная или бесканальная;
- По степени свободы: стационарная и переносная;
- По типу зданий: промышленная вентиляция, вентиляция жилых, общественных, офисных, сельскохозяйственных и др. зданий;
- По механизму воздухообмена: вентиляция смешением, вытеснением и локальная подача или отсос воздуха.

Выбросы в атмосферу воздуха, удаляемого общеобменной вентиляцией, содержащего вредные и неприятно пахнущие вещества, через **сосредоточенные устройства** (трубы, шахты, дефлекторы) или через **рассредоточенные устройства** (открывающиеся проемы фонарей, фрамуги окон и другие проемы) в расчетах рассеивания этих веществ должны предусматриваться так, чтобы концентрации их в атмосферном воздухе населенных пунктов на границах санитарно-защитных зон не превышали максимальных разовых выбросов, указанных в нормах ПДК и ПДВ (максимально допустимых разовых концентраций вредных веществ).



По степени свободы вентустановки подразделяются на **стационарные и переносные**. Переносные **вентустановки** (Рис.3.2)-предназначены для удаления вредных веществ из зоны дыхания рабочего при работе в замкнутых объемах. Комплекуются гибким шлангом, воздухоприемной воронкой и электрическим кабелем. Воздухоприемная воронка с двумя магнитами и ручкой с резиновым покрытием легко устанавливается вблизи мест выделения вредных веществ. Вентилятор снабжен защитной сеткой в патрубке на выходе воздуха, комплектуется гибким шлангом с быстроразъемным соединением, воздухоприемной воронкой и магнитным держателем, а также подставкой для установки на полу.



Рис.3.2. Переносная вентустановка

В **моноблочной** системе все компоненты размещаются в едином шумоизолированном корпусе. Такие системы имеют ряд преимуществ перед наборными системами:

- Поскольку все компоненты расположены в шумоизолированном корпусе, уровень шума моноблочных приточных установок заметно ниже, чем в наборных системах. Благодаря этому, некоторые моноблочные системы можно размещать в жилых помещениях, в то время как наборные системы, как правило, требуется устанавливать в подсобных помещениях или в специально обустроенных вентиляционных камерах.

- **Функциональная законченность и сбалансированность.** Все элементы приточной установки подбираются, тестируются и отлаживаются для совместной работы на этапе производства, поэтому моноблочные системы обладают максимально возможной эффективностью.

- **Небольшие габариты.** Например, моноблочная приточная вентиляционная система производительностью до 500 м<sup>3</sup>/час выполняется в прямоугольном корпусе высотой всего 22 см.

- **Простой и недорогой монтаж.** Установка

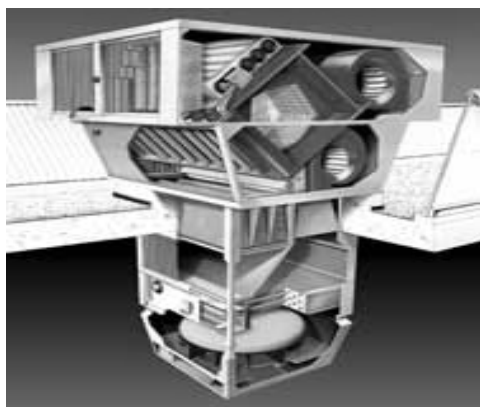


Рис. 3.3. Моноблочная система вентиляции

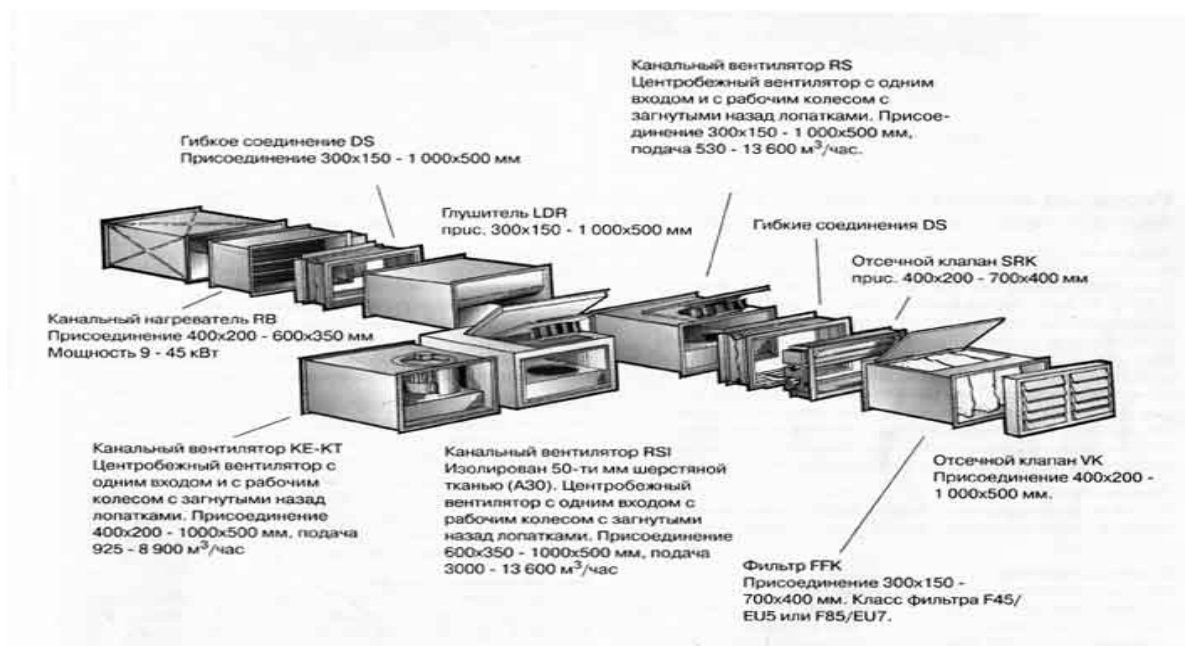


Рис.3.4. Пример наборной системы вентиляции.

моноблочной приточной установки занимает несколько часов и требует минимального количества расходных материалов.

• Моноблочные системы, в отличие от комплектующих для наборных систем, являются законченными изделиями, и на них обычно устанавливается более длительный срок гарантии.

**Наборная** система вентиляции собирается из отдельных компонентов (вентилятора, глушителя, фильтра, системы автоматики и т. д.). Собранная система (Рис. 3.2.) обычно размещается в отдельном помещении (венткамере) или за подвесным потолком (при небольшой производительности).

Вентиляция может осуществляться по разветвленным воздуховодам или каналам—канальные системы вентиляции, либо воздуховоды могут отсутствовать, например, при установке вентиляторов в стене, в перекрытии, через проемы в наружных ограждениях при естественной вентиляции и т.д. (бесканальные системы).

С точки зрения аэродинамики вентиляцию можно осуществлять методом смешения и вытеснения (Рис. 3.5). Вентиляция вытеснением—эффективный метод принудительного воздухообмена, применяемый на различных промышленных объектах с повышенными тепловыделениями и большим количеством вредностей.

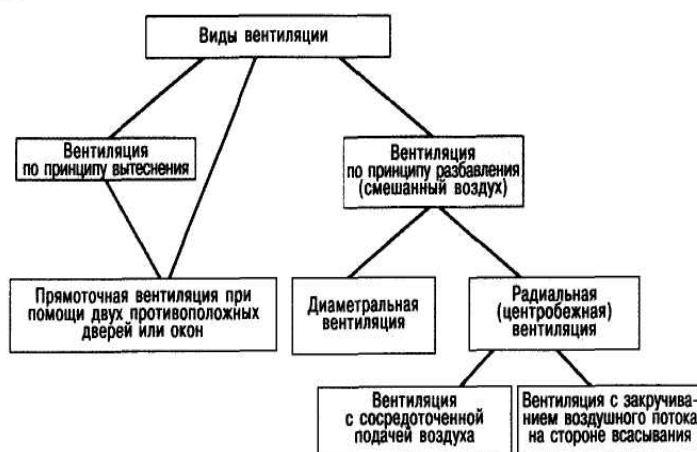


Рис.3.5. Классификация вентиляции по механизму

Суть метода вентиляции вытеснением заключается в использовании естественных конвективных потоков, восходящих от тепловых источников в помещении. Чистый, слегка прохладный воздух

подается в нижнюю зону помещения с малой скоростью и затопливает рабочую зону, вытесняя нагретый загрязненный воздух в верхнюю зону, в результате чего взвешенные в воздухе вредности благополучно покидают вентилируемые помещения через вытяжные устройства.

Это позволяет существенно повысить энергетическую эффективность вентиляции по сравнению с традиционными способами организации воздухообмена, когда приточный воздух подается в помещения одним

или несколькими потоками и перемешивается с загрязненным воздухом, после чего "смесь" постепенно покидает помещения через вытяжные устройства.

Проектирование системы вентиляции вытеснением невозможно без привлечения высококлассных специалистов. Расчет приточного воздуха или выделений вредностей проводится с использованием достаточно сложного программного обеспечения и требует учета взаиморасположения по высоте и мощности отопительных устройств, которые влияют на динамику воздушных потоков внутри помещения. Если расчет выполнен неправильно, вследствие

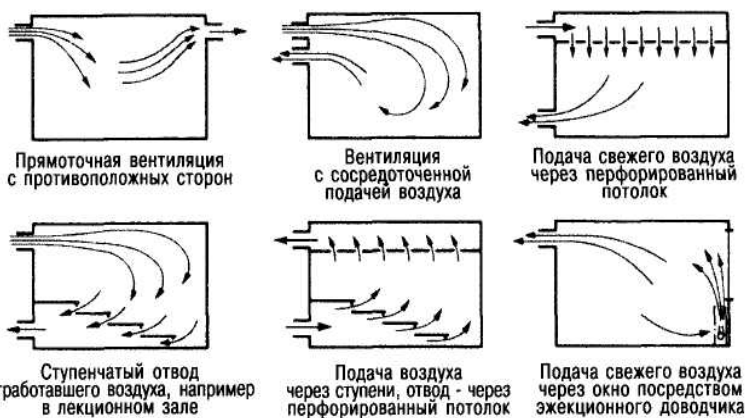


Рис.3.6. Примеры организации вентиляции

неравномерного нагрева помещений по высоте и воздействия посторонних токов воздуха, вызванных движением людей и предметов, может произойти смещение нагретых слоев воздуха вниз. В результате система будет функционировать по принципу вентиляции перемешиванием. Ошибки при определении скорости поступающих в помещения воздушных потоков приводят к возникновению сквозняков.

Основное конструктивное отличие вентиляции вытеснением от традиционной вентиляционной установки заключается в наличии у первой специальных низкоскоростных распределителей воздуха, которые замыкают устья воздуховодов. Их располагают на уровне пола в обслуживаемых помещениях обособленно или монтируют в стену

### 3.3.1. Естественная вентиляция

Естественная вентиляция создается без использования электрооборудования (вентиляторов с электродвигателями, эжекторов) и происходит вследствие естественных факторов:

- вследствие разности температур уличного воздуха и в помещении;
- от разности давлений «воздушного столба» между нижним уровнем (помещением) и верхним уровнем (вытяжным устройством, установленным на кровле здания);
- в результате воздействия ветрового давления (Рис. 3.7).

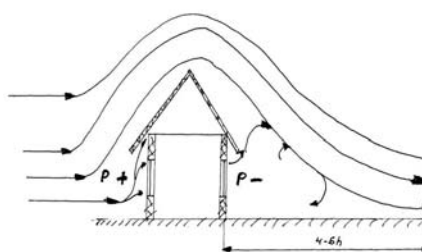


Рис. 3.7. Обтекание здания ветром

Достоинствами естественных системы вентиляции являются дешевизна, простота монтажа и надежность, вызванная отсутствием электрооборудования и движущихся частей. Благодаря этому, такие системы широко применяется при строительстве типового жилья и представляют собой вентиляционные короба, расположенные в самых неудобных местах на кухне или в коридоре.

Обратной стороной дешевизны естественных систем вентиляции является сильная зависимость их эффективности от внешних факторов – температуры воздуха, направления и скорости ветра и т.д. Кроме этого, такие системы в принципе нерегулируемы и с их помощью не удастся решить многие задачи

в области вентиляции.

Через неплотности в строительных конструкциях (двери, окна, ворота и др.) в любое время года внутрь помещений непрерывно поступает наружный воздух, а загрязненный уходит. Поскольку такой воздухообмен регулировать невозможно, он называется неорганизованным в отличие от регулируемого воздухообмена, осуществляемого вентиляцией. Проникновение наружного воздуха внутрь помещений называется **инфильтрацией**, а выход воздуха из помещения наружу — **эксфильтрацией**.

### 3.3.2. Аэрация

Одним из видов организованного естественного воздухообмена помещений является **аэрация**. Аэрация особенно успешно применяется для вентиляции помещений с большим выделением теплоты при производственных процессах в литейных, мартеновских, кузнечных и других цехах, если концентрация пыли и вредных газов в приточном воздухе не превышает 30% предельно допустимой в рабочей зоне. В помещениях с большими избытками тепла воздух всегда теплее наружного. Более тяжелый наружный воздух, поступая в здание, вытесняет из него менее плотный теплый воздух. При этом в замкнутом пространстве помещения возникает циркуляция воздуха, вызываемая источником тепла, подобная той, которую вызывает вентилятор. В системах естественной вентиляции, в которых перемещение воздуха создается за счет разности давлений воздушного столба, минимальный перепад по высоте между уровнем забора воздуха из помещения и его выбросом через дефлектор должен быть не менее 3 м.

Аэрацию не применяют, если по условиям технологии производства требуется предварительная обработка приточного воздуха или если приток наружного воздуха вызывает образование тумана или конденсата.

Естественная вентиляция помещений обуславливается разностью температур наружного и комнатного воздуха и силой ветра. Ветровой напор воздуха оказывает на одну сторону здания

давление, вгоняя воздух в помещение, а с подветренной стороны за счет разрежения отсасывает воздух из помещения. Воздухообмен зависит от вида строительного материала стен здания. Дерево, кирпич хорошо пропускают воздух. Бетонные стены, окраска их масляной краской, цементная штукатурка значительно снижают воздухопроницаемость. В целях усиления естественной вентиляции прибегают к проветриванию помещений через окна, форточки, фрамуги. С целью усиления естественной вентиляции в стенах жилых домов прокладывают вытяжные вентиляционные каналы, открывающиеся в кухне, в ванной и туалете. Они заканчиваются на крыше специальными насадками - дефлекторами, которые усиливают отсасывание воздуха за счет силы ветра. В современных жилищах системы с канальной вытяжкой вентиляции не всегда обеспечивают удаление из квартиры воздуха. Нередко возникает неблагоприятное явление как "опрокидывание тяги". В этих случаях через вентиляционные каналы в помещения поступают посторонние запахи и пыль, что создает опасность распространения грязи и инфекций из одной квартиры в другие. Для улучшения воздухообмена в жилых помещениях можно использовать электрические вентиляторы в вытяжном канале.

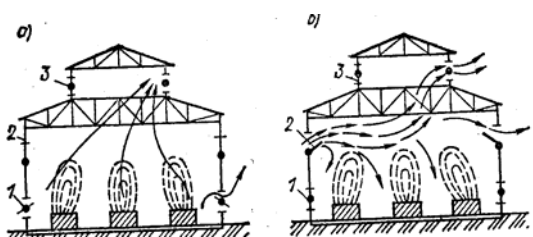


Рис. 3.8. Схема аэрации цеха 1— проем первого яруса; 2— проем второго яруса; 3—вытяжной проем

При устройстве аэрации в промышленных зданиях в стенах и вентиляционных фонарях делают специальные проемы, в которые устанавливают створные переплеты. Указанные проемы располагают в два яруса: первый—на высоте 1÷2 м от пола, второй—не ниже 4 м от пола. В летнее время (рис. 3.8,а) открывают приточные проемы первого яруса, а в зимнее и осеннее (рис. 3.8,б) во избежание простуды людей—проемы второго яруса. Холодный воздух в этом случае будет поступать в рабочую зону уже

подогретым. Удаляется воздух из помещения через вытяжной проем, располагаемый в фонаре. Для усиления вытяжки на крышах таких зданий устанавливают дефлекторы.

### 3.3.3. Искусственная вентиляция.

Однако механическая вентиляция имеет большие достоинства, состоящие в следующем:

1. приточный и удаляемый воздух, может быть, подвергнут любой обработке. Приточный воздух можно нагревать, охлаждать, увлажнять, осушать и т. п. Вытяжной (удаляемый) воздух может быть очищен от пыли и газов. В противном случае загрязненный воздух выбрасывается через высокие (80÷100 м и больше) трубы в атмосферу;

2. приточный воздух можно распределять, подавая его в определенные точки цеха, а загрязненный удалять от машин, аппаратов и мест образования вредных выделений в любом направлении.

В механических системах вентиляции используются оборудование и приборы (вентиляторы, электродвигатели, воздухонагреватели, автоматика, пылеуловители и др.), позволяющие перемещать воздух на значительные расстояния. Затраты электроэнергии на их работу могут быть довольно

большими. Такие системы могут подавать и удалять воздух из локальных зон помещения в требуемом количестве, независимо от изменяющихся условий окружающей воздушной среды. При необходимости воздух подвергают различным видам обработки (очистке, нагреванию, увлажнению и т.д.), что практически невозможно в системах естественной вентиляции.

**Приточные системы** предназначены для подачи воздуха в помещение, а **вытяжные**— для удаления загрязненного воздуха из рабочей зоны и выпуска его в атмосферу (Рис. 3.9.).

Если помещение оборудовано только

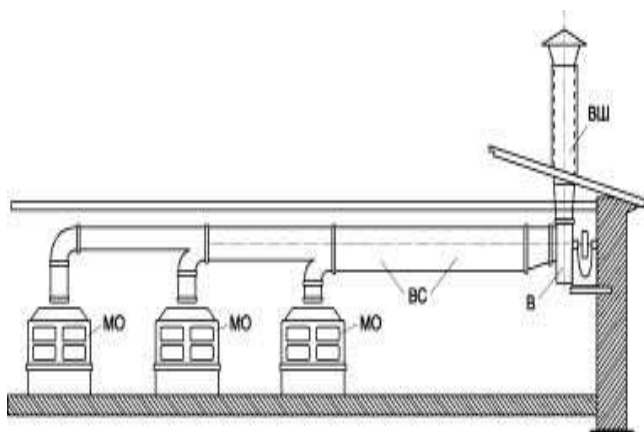


Рис. 3.9. Схема местной вытяжной вентиляции.

вытяжной вентиляцией, то в нем создается пониженное давление и в него через неплотности и проемы начинает поступать воздух из соседних помещений и снаружи. Указанное явление недопустимо, особенно в зимнее время, так как температура в вентилируемом здании значительно понижается. Приточный воздух, как правило, подвергается специальной обработке (очистке, нагреванию, увлажнению и т. д.) с помощью соответствующего дополнительного оборудования

В случае устройства только приточной вентиляции давление в помещении будет повышаться и загрязненный воздух проникнет в соседние помещения. Поэтому в большинстве случаев устраивают **приточно-вытяжную** вентиляцию с притоком и вытяжкой одинакового количества воздуха. При этом их производительность должна быть сбалансирована, иначе в помещении будет образовываться недостаточное или избыточное давление, что приведет к неприятному эффекту "хлопающих дверей".

Если воздух подается с частичным забором наружного воздуха и частичным подмешиванием воздуха из помещения (в том числе и очищенного), то такая система называется **приточно-рециркуляционной**.

При необходимости организации вентиляции всего помещения или рабочей зоны, когда невозможно улавливать вредные вещества, распространяющиеся по всему помещению (литейные цехи, сварочные с непостоянными местами сварки), устраивают **общеобменную вентиляцию**.

Удаление загрязненного воздуха непосредственно от источников вредных выделений или подачи воздуха в определенную часть помещения или к рабочим местам называется **местной вентиляцией**. Местная вентиляция требует меньших затрат, чем общеобменная вентиляция. В производственных помещениях при выделении вредных газов, влаги, теплоты и т.д. обычно применяют смешанную систему вентиляции—общую во всем объеме помещения и местную (местные притоки) для подачи свежего воздуха к рабочим местам.

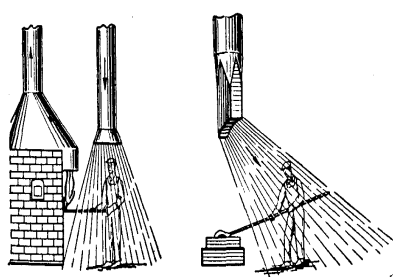


Рис. 3.10. Воздушный душ.

Местную вытяжную вентиляцию применяют, когда места выделения вредных веществ и выделений в помещении локализованы. Местная вытяжная вентиляция в производственных помещениях обеспечивает улавливание и отвод вредных выделений: газов, дыма, пыли и частично выделяющегося от оборудования тепла. Для вытяжки на местах применяются местные отсосы (укрытия в виде шкафов, зоны, бортовые отсосы, завесы, укрытия в виде кожухов у станков и др.). Местные вытяжные системы вентиляции, как правило, весьма эффективны, так как позволяют удалять вредные вещества

непосредственно от места их образования или выделения, не давая им распространиться в помещении. Благодаря отводу значительной концентрации вредных веществ (паров, газов, пыли), обычно удается достичь хорошего санитарно-гигиенического эффекта при небольшом объеме удаляемого воздуха.

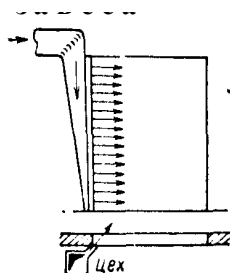


Рис. 3.11. Воздушная завеса у ворот

Местную вытяжную вентиляцию устраивают у травильных ванн, различных химических аппаратов, мест сварки, лабораторных шкафов. Местную приточную вентиляцию делают в кабинах крановщиков горячих цехов, в мартеновских, электроплавильных и других цехах.

К местной приточной вентиляции относятся воздушные души (Рис. 3.10) (сосредоточенный приток воздуха с повышенной скоростью). Они должны подавать чистый воздух к постоянным рабочим местам, снижать в их зоне температуру окружающего воздуха и обдувать рабочих, подвергающихся интенсивному тепловому облучению.

Местную приточную вентиляцию применяют также в виде воздушных завес (у печей, ворот, и пр.), которые создают как бы воздушные перегородки или изменяют направление потоков воздуха. Канал, через который поступает воздух размещают снизу или сбоку ворот (рис. 3.11). Воздушные завесы также предназначены для защиты помещения от поступления в него в холодное время наружного воздуха.

Приточные установки можно разделить:  
по типу нагревателя:

- с электрическим калорифером;
- с водяным калорифером;

по расходу воздуха:

- до 200-3000 м<sup>3</sup>/ч - миниприточные установки;
- более 3000 м<sup>3</sup>/ч - центральные приточные установки;

по конструктивному исполнению:

- для вертикального монтажа;
- для горизонтального монтажа;
- универсальные.

Местная вентиляция требует меньших затрат, чем общеобменная. В производственных помещениях при выделении вредностей (газов, влаги, теплоты и т.п.) обычно применяют смешанную систему вентиляции—общую для устранения вредностей во всем объеме помещения и местную (местные отсосы и приток) для обслуживания рабочих мест.

Конструкции местных отсосов условно делят на две группы: полуоткрытые отсосы (вытяжные шкафы, зонты) и открытого типа (бортовые отсосы). Отвод вредных выделений достигается лишь при больших объемах отсасываемого воздуха.

Однако местные системы вентиляции не могут решить всех задач вентилирования. Не все вредные выделения могут быть локализованы этими системами. Например, когда вредные выделения рассредоточены на значительной площади или в объеме, подача воздуха в отдельные помещения не может обеспечить необходимые условия воздушной среды. То же самое, если работа производится на всей площади помещения или ее характер связан с перемещениями и т.д.

В промышленности нередко встречаются производственные процессы с интенсивным выделением вредных веществ, при оснащении которых традиционными системами вентиляции не удастся обеспечить в рабочей зоне требуемую санитарными нормами чистоту воздуха.

Для повышения эффективности местной вытяжной вентиляции и возможности обеспечения на рабочих местах таких производств содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны в пределах

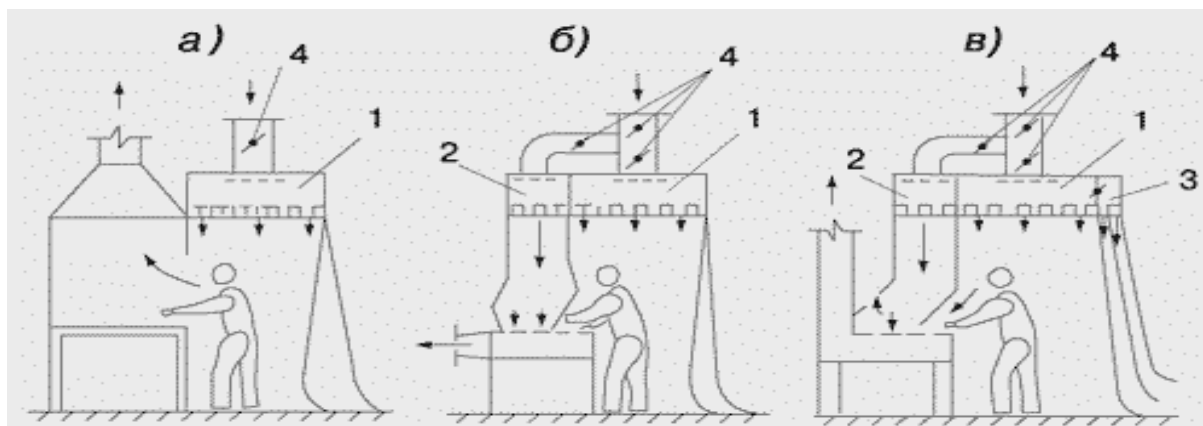


Рис. 3.12. Аэродинамические схемы местной приточно-вытяжной вентиляции: а - БВВ без завес с вытяжным шкафом; б - БВВ с фронтальной завесой и отсосом через перфорированную столешницу стола; в - БВВ с фронтальной и боковыми завесами, боковым отсосом и отсосом через перфорированную столешницу стола. 1 - основная воздухораспределительная панель; 2 - воздухораспределительная панель с фронтальной завесой; 3 - воздухораспределители боковых завес; 4 - регулирующие заслонки.

ПДК предложено решение, представляющее сочетание местного вытяжного устройства с местной приточной вентиляцией, создающей малотурбулентный (безвихревой) поток очищенного воздуха, направленного сверху вниз на рабочее место. Таким образом, под безвихревым воздухораспределителем (БВВ), расположенным над рабочим местом, создается зона чистого воздуха, в которой содержание вредных примесей в несколько (а иногда в десятки) раз ниже, чем в окружающем воздухе.

Некоторые возможные аэродинамические схемы местной приточно-вытяжной вентиляции с использованием БВВ представлены на рис. 3.12.

На рис. 3.12.а приведен вариант применения БВВ без завес у открытого проема укрытия типа вытяжного шкафа, в котором осуществляется технологический процесс с выделением вредных веществ при отсутствии или незначительных тепловыделениях. При этом в плоскости открытого проема обеспечивается равномерное поле всасывания малотурбулентного потока воздуха, поступающего от БВВ.

Важнейшая задача **противодымной вентиляции** состоит в том, чтобы удалить из здания продукты сгорания. При горении образуются значительные количества продуктов сгорания (окислов), дыма и тепловой энергии, которые скапливаются под крышей здания и распространяются как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях. Эти вещества могут быть более или менее токсичными в зависимости от состояния и свойств очага загорания. В течение нескольких минут большие массы дыма могут заполнить все помещение, где возник пожар. Газообразные продукты сгорания сначала распространяются лишь по части помещения, они поднимаются к потолку и образуют слой, который первое время еще не смешивается с находящимся ниже холодным воздухом. Только при более сильных пожарах газовая «подушка» распространяется от потолка к полу помещения. Как только она достигнет обслуживаемой зоны помещения, необходимо принимать экстренные меры по спасению людей и ликвидации пожара.



Рис. 3.13. Цели противодымной вентиляции

Расчет систем противодымной вентиляции можно делать только в соответствии с действующими законами и стандартами. Определение тепловой нагрузки на конструкции зданий и сооружений во время пожара может проводиться в соответствии со европейским стандартом DIN 18230.

Для быстрого удаления из помещения при аварии токсичных веществ или взрывоопасной смеси газов и воздуха устраивают системы **аварийной вентиляции**.

### 3.3.4. Аспирация.

Для удаления и отсоса пыли, образующейся (дробление, фракционирование, сушка и т.д.), или выделяющейся в воздух (пересыпки сыпучих материалов с конвейера на конвейер, истечение из дозаторов, бункеров и т. д.) при некоторых производственных процессах устраивают систему вентиляции, называемую **аспирацией**. Аспирация подразделяется на индивидуальную, когда каждый станок или рабочее место имеет отдельную аспирационную установку, и центральную, когда установка обслуживает группу станков или рабочих мест.

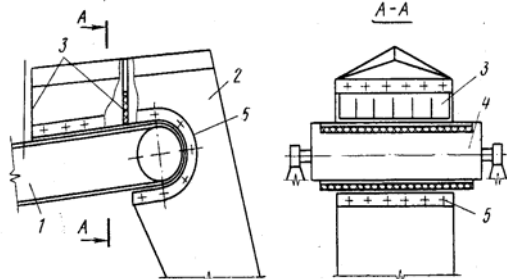


Рис. 3.14. Укрытие разгрузочного барабана подающего конвейера: 1—подающий конвейер; 2—укрытие; 3—уплотняющие фартуки; 4—разгрузочный барабан конвейера; 5—уплотняющие полосы

В большинстве случаев для локализации выделения пыли и эффективного её удаления применяют аспирационные укрытия. Устройство аспирационного укрытия зависит от вида технологического оборудования, характера технологического процесса, физико-химических свойств перерабатываемых материалов. По этим признакам все основные случаи, встречающиеся на практике, можно классифицировать следующим образом.

**Группа 1**—аспирация, когда в процессе переработки материала образуются мелкие частицы и унос их нежелателен или вовсе недопустим. К этой группе относятся технологические процессы

механической (дробление, измельчение, классификация по крупности частиц, смешивание, прессование и т.д.) и термической (сушка, нагрев, спекание, охлаждение и т.д.) обработки материалов. Эти процессы протекают в сочетании с перемещением обрабатываемого материала самотеком (по гравитационным желобам или свободными гравитационными струями) и конвейерным транспортом.

Осажденная пыль обычно не используется в качестве основного выпускаемого продукта, но уменьшает его выход, являясь иногда наиболее ценной его частью. Необходимо выделять производства, где тонкоизмельченный материал (порошок) представляет собой конечный готовый продукт. Унос материала здесь крайне нежелателен, а унесенный с аспирируемым газом порошок должен быть по возможности полностью уловлен. В основном это производства, связанные с получением и применением различных порошковых материалов.

**Группа II**—аспирация, выполняющая не только роль локализации выделяющихся вредных примесей и их отсоса, но и обеспечивающая одновременно освобождение продукта от нежелательных примесей и удаление их с аспирируемым газом. Иногда содержащиеся в пыли частицы представляют собой ценный продукт, и их тщательно отделяют от аспирационного воздуха. Таким образом, аспирация выполняет одновременно и технологические функции. К этой группе можно отнести, в частности, аспирацию машин и станков для обработки материалов абразивами, различных машин и устройств для очистки литья. Энергию образующейся при этом свободной струи используют для отвода ее в аспирационное укрытие.

При этом необходимо исходить из условия, что аспирация не должна влиять на технологический процесс или ее действие следует существенно ограничить. Например, результатом уноса материала с аспирируемым воздухом может быть не только потеря продукта, но и вследствие избирательности захвата более мелких частиц качественное изменение протекания технологического процесса. Поэтому унос материала крайне нежелателен, а унесенный с аспирируемым газом тонкоизмельченный материал (порошок), особенно когда он представляет собой конечный продукт, подлежит полному улавливанию.

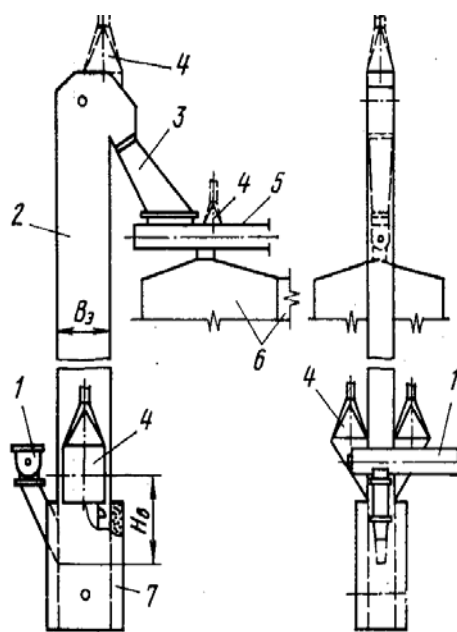


Рис. 3.15. Аспирация ковшевых элеваторов: 1—подающий шнек; 2—элеватор; 3—разгрузочный желоб; 4—аспирационные воронки; 5—принимающий шнек; 6—бункера; 7—укрытие в виде футляра.

Увеличение воздухообмена под влиянием местного отсоса может привести к нарушению температурного режима или требований к содержанию влаги в перерабатываемых материалах.

Ведение технологического процесса зависит от работы аспирационных установок, которые входят в цепь технологических аппаратов. Например, при сушке сыпучих материалов теплом, выделяющимся при сжигании горючих газов, аспирация обеспечивает отвод продуктов сгорания, выделившихся водяных паров и поступление воздуха в зону горения. В агломерационном производстве тягодутьевыми установками создается поток воздуха сквозь слой спекающегося на ленте агломерата и последующее охлаждение на ленте окускованного материала.

Промежуточное положение занимают аспирационные системы, обеспечивающие не только локализацию выделяющихся вредных примесей, их отсос, но и освобождение продукта от нежелательных примесей, а также удаление их с аспирируемым газом. Такие требования возникают, в частности, при производстве некоторых строительных материалов. Следовательно, аспирация выполняет здесь одновременно и технологические функции.

Промежуточное положение занимают аспирационные системы, обеспечивающие не только локализацию выделяющихся вредных примесей, их отсос, но и освобождение продукта от нежелательных примесей, а также удаление их с аспирируемым газом. Такие требования возникают, в частности, при производстве некоторых строительных материалов. Следовательно, аспирация выполняет здесь одновременно и технологические функции.



Условия работы вентиляционных аспирационных установок существенно отличаются от условий работы технологических установок.

Поскольку вентиляционные аспирационные установки производят отсос из зон, где через неплотности в технологическом оборудовании или ограждениях в атмосферу производственных помещений происходит истечение воздуха (газа), загрязненного вредными примесями, уровень давлений в аспирируемых укрытиях очень мало отличается от атмосферного. Действительно, нет необходимости даже в самых неблагоприятных случаях принимать величину разрежения на внутренней поверхности стенок укрытий выше  $50 \text{ н/м}^2$ . Максимальные разрежения, которые развиваются на входе вентилятора даже при использовании пылеочистных установок с самым высоким уровнем гидравлического сопротивления, не превышают  $3 \cdot 10^2 - 4 \cdot 10^3 \text{ н/м}^2$ , т. е. ничтожно малы по сравнению с атмосферным давлением. Температура аспирируемого воздуха также не может быть особенно высокой и в редких случаях превышает  $100^\circ \text{C}$ . В таких условиях нет необходимости в толстостенных аспирационных укрытиях и воздухопроводах. Вентиляционные задачи здесь решает аспирация.

Аспирационные установки обычно включают: аспирационные укрытия, воздуховоды, пылеуловители, а также различную арматуру (запорную и регулируемую, лючки, клапаны, мигалки и т. д.).

### 3.3.5. Пневмотранспорт

Вентиляционную установку, применяемую для транспортирования легких материалов (древесная стружка, опилки, хлопок, отходы шерсти), называют **пневмотранспортом**, являющегося также разновидностью трубопроводного транспорта.

Трубопроводный транспорт широко используется для транспортирования сыпучих или пылевидных грузов в смеси с жидкостью (пульпопроводы) или газом (пневмотранспорт). Достаточно широко известно использование трубопроводного транспорта для перемещения различных грузов в специальных капсулах (пневмопочта).

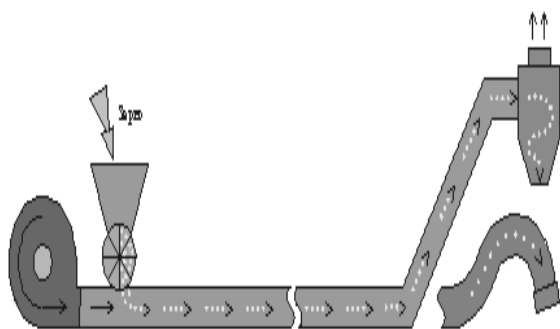


Рис. 3.16. Схема напорной установки для пневмотранспорта зерна

Использование контейнеров на опорах качения (колесах) со специальными уплотнительными устройствами позволило реализовать известные принципы работы пневмопочты для экономически эффективного решения проблемы транспортирования по трубопроводам грузов большой массы (до нескольких тонн) на значительные расстояния (до нескольких десятков километров).

Контейнеры на опорах качения (колесах) перемещаются при небольших перепадах давлений. Так, например, для движения состава контейнеров массой 65 т по горизонтальному участку трубопровода диаметром 1220 мм надо создать

перепад давлений около  $0,15 \text{ кгс/см}^2$ , по наклонному участку с углом подъема  $3^\circ - 0,45 \text{ кгс/см}^2$ . Обычно в системах, работающих в напорном режиме, расчетное избыточное давление не превышает  $1 \text{ кгс/см}^2$ , следствием этого являются невысокие требования к манжетным уплотнениям между контейнерами и трубопроводом.

Пневмотранспортеры позволяют создавать гибкие и эффективные схемы транспортировки различных сыпучих материалов.

Установки обычного пневмотранспорта по месту расположения вентилятора делится на следующие виды:

- Напорные установки
- Всасывающие установки
- Всасывающе-напорные установки

Напорные установки (Рис. 3.16) используются для транспортировки различных материалов, выгружаемого из бункеров хранилищ, нижних люков вагонов-хопперов. Кроме того, материал может подаваться в бункер пневмотранспортера шнековыми, ленточными транспортерами или загрузаться

вручную. Из бункера материал через шлюзовой затвор поступает в материалопровод где подхватывается потоком воздуха, нагнетаемого вентилятором, и транспортируется к месту выгрузки.

**Всасывающе-напорные** установки пневмотранспорта работают по комбинированной схеме. С всасывающей стороны смесь воздуха с материалом подается в циклон. В циклоне сыпучий материал отделяется и через шлюзовой затвор поступает в эжектор, где подхватывается воздухом нагнетающей части системы и по газопроводу, состоящему из гибких и жестких участков, поступает к месту выгрузки. Такие пневмотранспортеры используются при разгрузке и загрузке судов, барж, вагонов, автомашин, силосов, зернохранилищ, загрузке зерна из буртов (3.17).

Операторы пневмотранспортного оборудования хорошо знакомы с негативным влиянием избыточной влажности. Гигроскопичные материалы и порошки, поглощая влагу, начинают

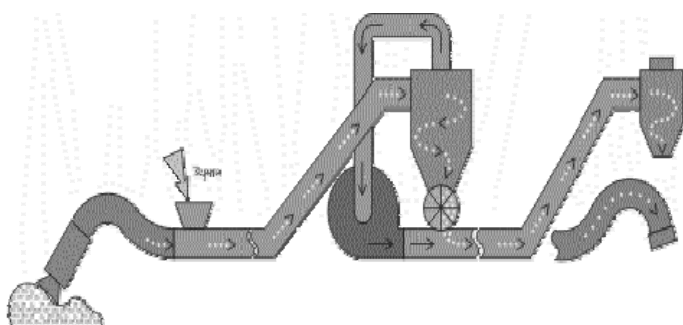


Рис. 3.17. Схема всасывающе-напорной установки для пневмотранспорта зерна

слипаться и налипать на внутренние поверхности пневмопроводов. В результате повышенной влажности возникают проблемы с проходимость, ухудшаются санитарные условия, происходят остановки оборудования. Проблемы неконтролируемого климата в транспортных системах возникают везде – от химической промышленности до производства пищевых продуктов. Требования к воздуху в системах пневмотранспорта зависят от особенностей транспортируемого материала и

устанавливаются для каждого конкретного случая. В большинстве случаев оптимальная относительная влажность находится в диапазоне 20-40%.

В отличие от осушителей конденсационного (рефрижераторного) типа, адсорбционные осушители (Рис. 3.18) работают при любых температурах и уровнях влажности воздуха. Такие осушители, при необходимости, могут обеспечивать воздух с точкой росы  $-50^{\circ}\text{C}$  и ниже.

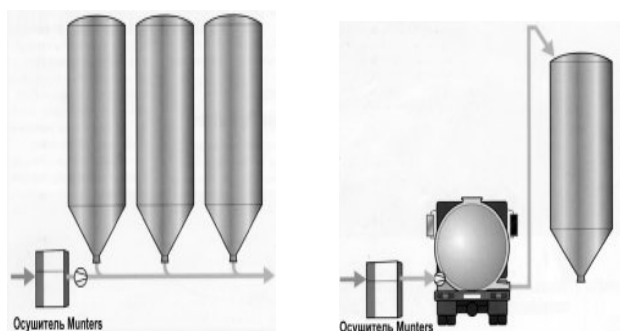


Рис.3.18. Пневмотранспорт с осушкой воздуха

Главным элементом осушителей (Рис.3.19) Munters является ротор, имеющий сотовую структуру, благодаря чему достигается большая площадь контакта поверхности с воздухом.

Материал ротора обработан особым составом, например, на основе силикагеля.

При работающем осушителе через ротор одновременно пропускаются два изолированных друг от друга потока воздуха. Один поток – это осушаемый воздух. Другой – воздух реактивации.



Рис. 3.19. Адсорбционный Ротор-осушитель Мунтера

При прохождении через ротор влага осушаемого воздуха поглощается адсорбирующим составом. Удаление влаги сопровождается повышением температуры воздуха.

Далее ротор, медленно вращаясь, попадает в сектор реактивации. Здесь подогретый до высокой температуры воздух реактивации осушает сам ротор, восстанавливая его влагопоглотительные свойства. Затем этот влажный воздух выводится за пределы осушаемого пространства.

Адсорбирующий состав ротора выдерживает огромное количество циклов адсорбции-регенерации, поэтому роторы чрезвычайно долговечны. Ожидаемый срок эксплуатации ротора составляет 15 лет.

В состав систем пневмотранспорта могут входить: бункеры, дозаторы, питатели, загрузочные устройства

различного типа или отправочные станции, циклоны, воздухоборники, затворы, клапаны, вентили, транспортный трубопровод, компрессоры или вентиляторы, аппаратура управления.

Для того, чтобы определить модель пневмотранспортера и комплект оборудования, необходимо указание в техническом задании следующих данных:

- требуемая производительность;
- вида транспортируемого материала;
- размера его частиц;
- ряда характеристик частиц материала (плотность, слипаемость, пределы взрываемости, гигроскопичность, абразивность и т.д.
- расстояния транспортировки по горизонтали;
- высоты вертикального подъема ;
- способ забора материала (из бункера или из насыпи);
- других существенные условия.

### 3.4. Состав систем кондиционирования

**Кондиционеры**—это агрегаты, предназначенные для кондиционирования воздуха в помещении. По месту рас положения относительно обслуживаемых помещений кондиционеры подразделяются на центральные и местные. Центральные кондиционеры, расположенные вне обслуживаемого помещения, могут снабжать воздухом несколько помещений или зон.

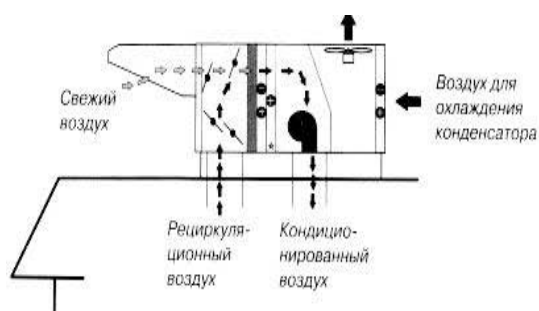


Рис. 3.20. Крышный кондиционер (руфтоп)

**Эжекционные** кондиционеры-доводчики предназначены для систем круглогодичного кондиционирования воздуха в бытовых, общественных и административных зданиях. Такие кондиционеры являются безвентиляционными агрегатами. Их размещают в строительной конструкции оконного проема или на стене помещения.

Среди современных устройств кондиционирования можно отметить следующие системы:

**Крышные кондиционеры**—(руфтопы)—это моноблоки для открытой установки на плоских



Рис. 3.21. Система кондиционирования с чиллером

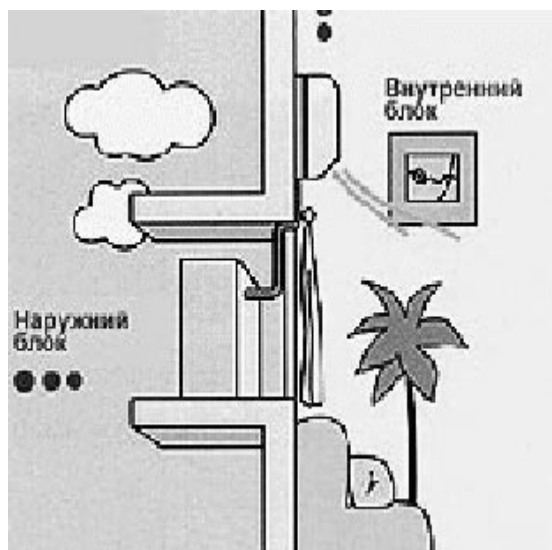


Рис. 3.22. Кондиционирование с помощью сплит-системы.

кровлях зданий, которые позволяют осуществлять вентиляцию с притоком свежего воздуха и кондиционирование помещений (Рис.3.20).

**Чиллеры** предназначены для создания комфортных условий в большом количестве помещений (например, в гостиницах) или в целых зданиях (крупные государственные и правительственные учреждения, музеи, аэропорты). Они выполняют роль "внешних" блоков для больших систем

кондиционирования, к которым может быть подключено большое число "внутренних блоков"—**фанкойлов**, обеспечивающих непосредственное кондиционирование в отдельных помещениях.

**Сплит-системы**—самый популярный тип кондиционеров у населения. Они состоят из двух блоков, что позволяет значительно снизить уровень шума в помещении. Блок, содержащий испарители и нагнетатели воздуха, устанавливается в помещении, а блок, содержащий компрессоры и вентиляторы, устанавливается снаружи. Оба блока соединены специальными медными трубопроводами в одну систему, в которой циркулирует хладагент.

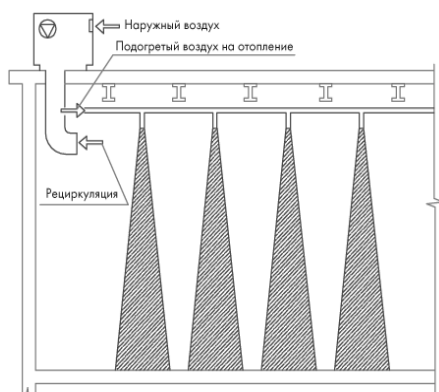
Внутренние блоки могут быть следующих типов:

- настенные,
- напольные,
- кассетные,
- припотолочные,
- консольные
- универсальные.

### 3.5. Воздушное отопление

Для промышленных и специальных систем расчетная температура подаваемого воздуха должна быть на 1-5 градусов ниже комнатной температуры, а для комфортных систем эта разница составляет всего 1-3 градуса. Излишний перегрев или переохлаждение могут привести к образованию конвекционных потоков. Поэтому оборудование тракта воздухообработки должно регулировать температуру подаваемого в помещения воздуха с большой точностью. В зависимости от назначения помещений это может быть центральный или миницентральный кондиционер модульного типа.

Во избежание попадания в холодное время года; наружного воздуха внутрь помещения через ворота или дверные проемы в промышленных и гражданских зданиях устраивают **воздушные и воздушно-тепловые завесы** (рис. 3.5), в которых наружный воздух, прежде чем попасть в помещение, подогревается. Во многих случаях системы вентиляции используют для отопления помещений. Такие системы вентиляции называют воздушным **отоплением**.



**Рис. 3.23.** Схема системы воздушного отопления склада с направляющими соплами

Например, особенностью стеллажных складов является их большая насыщенность технологическим оборудованием (стеллажами для хранения грузов), высокая механизация технологического процесса, малое количество обслуживающего персонала. С точки зрения выбора систем отопления и вентиляции стеллажные склады могут быть отнесены к производственным помещениям с крупногабаритным оборудованием.

Система воздушного отопления с направляющими соплами предназначена для помещений с крупногабаритным оборудованием, в которых она обеспечивает практически безградиентное распределение температуры воздуха по высоте.

Система обеспечивает эффективное отопление при минимизированных расходах воздуха, подаваемого через сопла с большой скоростью, и при значительных перепадах температуры при обеспечении нормируемых параметров микроклимата в рабочей зоне. Направляющие сопла (Рис. 3.23) устанавливаются в верхней зоне помещения между стеллажами и подают нагретый воздух вертикально вниз в направлении рабочей зоны. Энергоэффективность системы с направляющими соплами обеспечивается безградиентным распределением температуры воздуха по высоте, устранением перегрева верхней зоны помещений.

### 3.6. Современные тенденции климатизации зданий.

В России все больше появляется так называемых бизнес-центров— многоэтажных зданий с внутренней "нарезкой" помещений под офисы. Естественно, что вопрос о том делать или не делать

климатизацию таких современных офисных центров уже не стоит. Нужно только решить—какую делать климатизацию.

Действительно, существует множество технических решений данной задачи. Каждый раз необходимо исходить из конкретных условий, чтобы предложить оптимальное решение как по технике, так и по стоимости оборудования и работ. При этом, как правило, Заказчик всегда желает получить самый лучший климат при минимальных затратах.

Рассмотрим новые подходы к климатизации офисных зданий, являющиеся, вероятно, наиболее эффективными.

В качестве рассматриваемого примера выбрано многоэтажное офисное здание как наиболее сложное из-за большого количества внутренних помещений, в которых могут быть различные условия по климату. То есть, решить в таком здании вопрос климатизации канальной **вентиляцией** и сплитами здесь не представляется возможным.

В настоящее время классический подход подразумевает наличие двух систем в здании: системы водяного отопления и системы **вентиляции и кондиционирования**. Если разложить эти системы на составляющие, то мы имеем следующую картину (рис. 3.24):

1—система отопления, состоящая или из собственной котельной, как правило, работающей на газу, или из теплового пункта, куда подводится горячая вода от центральной тепломагистрали и где происходит разводка теплоносителя по трубам здания, регулировка и прочее;

2—система трубопроводов для транспортировки горячей воды по этажам и непосредственно по помещениям;

2а—система трубопроводов для доставки горячей воды к теплообменникам приточных установок;

3—конечные нагревательные элементы: радиаторы, батареи отопления;

4—приточные установки. Задача этих установок поставлять свежий воздух в помещения. Причем, в зимнее время воздух в установках должен нагреваться, а в летнее охлаждаться до температуры, примерно равной температуре воздуха в помещении. Кроме этого, воздух в приточных установках (или центральных кондиционерах) очищается в фильтрах различного класса и, при необходимости, увлажняется;

5—система воздуховодов для транспортировки воздуха со всеми клапанами, заслонками и вентиляционными решетками непосредственно в помещениях;

6—вентиляторные доводчики температуры воздуха в помещениях. Ведь даже если в систему приточной **вентиляции** встраивается **кондиционирование** и в помещения сразу поступает охлажденный воздух, то из-за разности

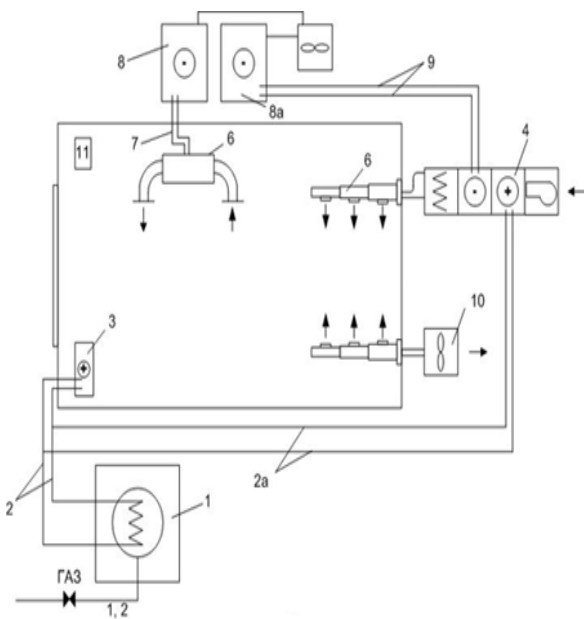


Рис. 3.24. Климатизация помещений.

расположения, количества людей и тепловыделяющего оборудования и из-за различных требований людей, наконец, в различных помещениях будет различная температура. В качестве доводчиков могут использоваться водяные фанкойлы, фреоновые сплит-мульти-сплит- системы, VRV-системы и прочее;

7—система водяных (или фреоновых) трубопроводов для транспортировки хладонносителя: воды/фреона от холодильной машины (чиллера), (8) компрессорно-конденсаторного блока;

8а—хладонноситель от отдельного чиллера (или часть нагрузки от общего чиллера) поступает на теплообменник приточной установки для охлаждения воздуха в летнее время;

9—система трубопроводов для транспортировки хладонносителя от чиллера к теплообменнику приточной установки;

10—вытяжная **система вентиляции**, состоящая из вытяжных вентиляторов, системы воздуховодов, клапанов и так далее;

11—система автоматики;

12—газопровод к котельной, если она есть.

Вот что из себя, в целом, представляет классическая схема климатизации офисного здания.

Теперь представим эту систему в более рациональном виде.

В основе нового подхода лежит воздушное отопление. Конечно, воздушное отопление известно довольно давно, но его применение было ограничено необходимостью использовать горячую воду для нагрева воздуха в приточных установках. При несовершенстве автоматики существует большая вероятность "разморозки" калорифера и потеря работоспособности всего здания на длительное время. Поэтому такие системы воздушного отопления, несмотря на ряд преимуществ, используются крайне редко.

Предложено использовать в качестве теплообменника непосредственно горелку газа, а в качестве теплоносителя - горячий газ. Такой теплообменник представляет собой изогнутую трубу из специального сплава, в которую подводится газ, оснащенную запальным устройством. Воздух, омывая внешнюю поверхность стенки теплообменника, нагревается, а дальше все по классике: воздуховоды, вентилятор и так далее. Такой теплообменник является горелкой закрытого типа, то есть продукты сгорания не смешиваются с воздухом и удаляются через отдельную дымовую трубу.

При таком подходе исчезает промежуточный теплоноситель-вода, и появляется ряд преимуществ:

- отсутствует сама возможность "разморозки" системы;
- повышается эффективность и, естественно, снижаются эксплуатационные расходы на теплоноситель (в данном случае расходы на газ ниже, чем расходы на горячую воду);
- исчезают необходимые опрессовки трубопроводов и радиаторов, балансировка гидравлической системы, водоподготовка и прочее;
- система отопления становится совсем неинерционной - есть возможность изменения температуры воздуха в помещении в течение получаса, так как температура воздуха в помещении напрямую зависит от количества теплоты (количества сгоревшего газа) в теплообменнике. Регулировка поступающего и сгорающего газа очень проста.

Это дает возможность реальной экономии: в дневное время можно поддерживать в офисных помещениях 20-22°C, а в ночное время и воскресные дни—10-16°C. Давайте прикинем. В году 365 дней или 8760 часов. Из них около 110 дней (2640 часов) — праздники или выходные, а в оставшихся 255 днях около 2550 часов (по 10 в день) — это ночное время. Таким образом, из 8760 часов в год около 5200 часов—время, когда в офисах практически никого нет, а это больше 50 % всего времени. Вот Вам огромный потенциал экономии.

Используя систему воздушного отопления, можно представить следующую схему отопления, **вентиляции и кондиционирования** (рис. 3.18.):

1—приточные установки, единственным отличием которых от предыдущих является наличие газовой горелки-теплообменника. Все остальное такое же, как и в обычной приточной установке:

вентилятор, фильтр, заслонки наружного воздуха, теплообменник для охлаждения воздуха в летнее время и так далее;

2—система приточных воздуховодов, по которым поступает воздух для отопления, вентиляции и, частично, для кондиционирования (снятия теплоизбытков приточного воздуха);

3—вентиляционные доводчики, как и в классической схеме;

4—система трубопроводов для хладоносителя;

5—холодильная машина (чиллер);

6—в принципе, для охлаждения воздуха в приточной установке можно пойти по классическому

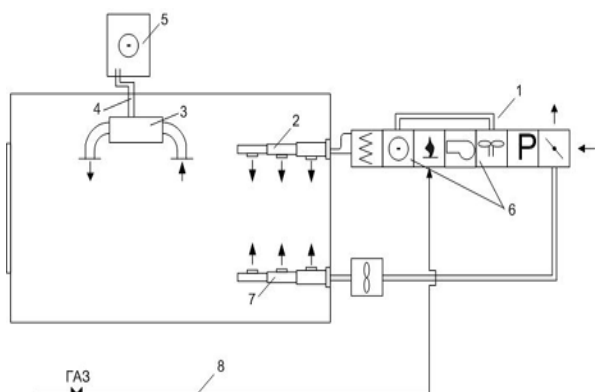


Рис.3.25. Система воздушного отопления

пути: чиллер для охлаждения воды, теплообменник, система трубопроводов. Однако, сейчас некоторые фирмы стали объединять в одном агрегате теплообменник и чиллер воздушного охлаждения. Появляется экономия на трубопроводах и работах;

7—система вытяжных воздуховодов остается прежней. Хотя ее желательно соединить с приточной установкой и с помощью регенератора опять получать экономию. Кроме этого, экономия получается за счет того, что в ночное время и воскресные дни воздух вентиляции можно вообще пускать на рециркуляцию и, тем самым, не тратить значительные теплотраты на нагрев приточного свежего воздуха;

8—газопровод, который подводится непосредственно к приточной установке.

Даже из простого визуального сравнения схем видно, что количество систем уменьшается, а, следовательно, уменьшаются и затраты на материалы, на работы по монтажу и эксплуатации.

Существенным отличием нового подхода является то, что к приточной установке надо подводить газ. Там, где предполагается ставить собственную котельную, вопрос с газом уже решен. Там где надо подводить либо трубу с горячей водой от тепломагистрали, либо газ—решение также легко принять. Стоимость подвода газа намного дешевле подводки водяного трубопровода. А вот там, где горячая вода уже есть, решится на кардинальный переход достаточно сложно, несмотря на все экономические преимущества.

Естественно, возникает вопрос, а может ли воздушное отопление выполнять те же функции, что и водяное отопление, и не приведет ли переход на воздушное отопление к существенному увеличению размеров воздуховодов.

Возьмем для оценки конкретный 7-ми этажный офисный центр суммарной площадью в 19000 м<sup>2</sup>. Расчет тепловых и холодильных нагрузок показывает, что расход тепла на отопление составляет 360 кВт, а расход тепла на вентиляцию (на нагрев приточного воздуха в зимнее время) составляет 1420 кВт. То есть расход тепла на отопление составляет всего 20 % от суммарных затрат тепла, что ведет к незначительному увеличению мощности приточной установки и величины воздуховодов.

### **3.7. ТЕПЛОУТИЛИЗАЦИЯ В СИСТЕМАХ КЛИМАТИЗАЦИИ**

С целью значительной экономии энергии на подогрев воздуха в системах вентиляции рекомендуется применять теплоутилизацию. Она позволяет использовать тепловую энергию удаляемого из помещения воздуха для предварительного подогрева наружного воздуха, имеющего низкие температуры.

Рекуперация тепла или обратное получение тепла—это процесс теплообмена, при котором тепло забирается от вытягиваемого выбрасываемого воздуха ( $t_i$ ) и передается свежему нагнетаемому воздуху ( $t_v$ ), который таким образом нагревается ( $t_R$ ). Процесс проходит в рекуперационном теплообменнике таким образом, что выбрасываемый и свежий воздух абсолютно отделены друг от друга, чтобы не произошло их смешивание. В охлаждаемых помещениях можно использовать рекуперационные теплообменники также обратным способом, то есть для рекуперации холода. При этом подводимому воздуху передается холод от отводимого воздуха.

В установках используются различные варианты теплоутилизации:

- рециркуляция воздуха в камере смешения;
- рекуперативный перекрестноточный теплообменник;
- регенеративный вращающийся теплообменник;
- система с двумя рекуперативными теплообменниками и гликолевым теплоносителем.

В системе с двумя рекуперативными теплообменниками и гликолевым теплоносителем используются два рекуперативных теплообменника (Рис.3.26). Один установлен на пути удаляемого воздуха и производит отбор теплоты и его охлаждение, другой—в зоне поступающего извне наружного воздуха, который нагревается. Между теплообменниками циркулирует с помощью специального насоса теплоноситель—водный раствор этиленгликоля (35%). Зоны вытяжного и наружного воздуха полностью разделены и могут находиться в случае необходимости на значительном расстоянии.

Регенеративный вращающийся теплообменник имеет высокую эффективность (Рис.3.27), однако

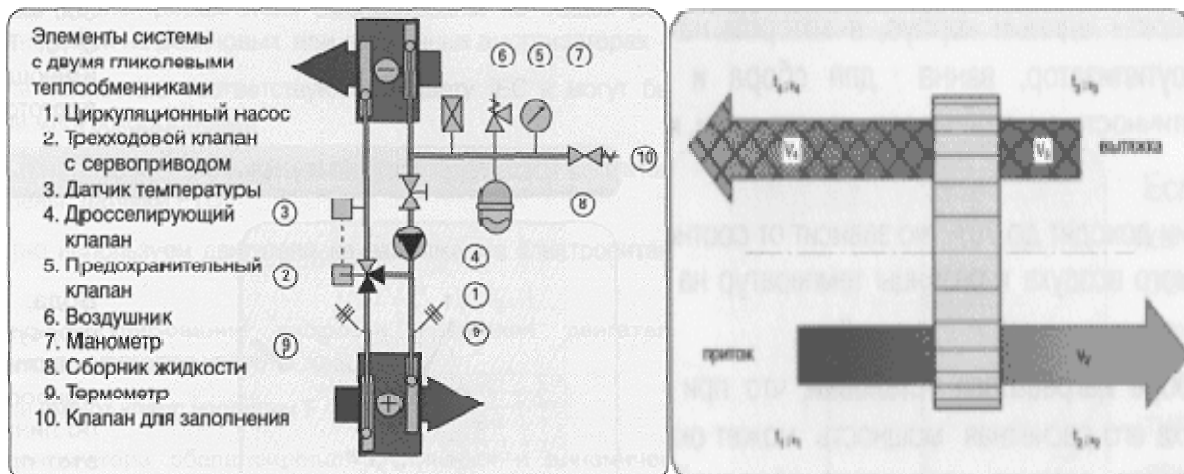


Рис.3.26. Система с двумя рекуперативными теплообменниками и гликолевым теплоносителем  
Рис 3.27. Регенеративный вращающийся теплообменник

следует помнить, что в нем возможны перетоки воздуха в ту или другую сторону в зависимости от перепада давлений приточного и вытяжного воздуха

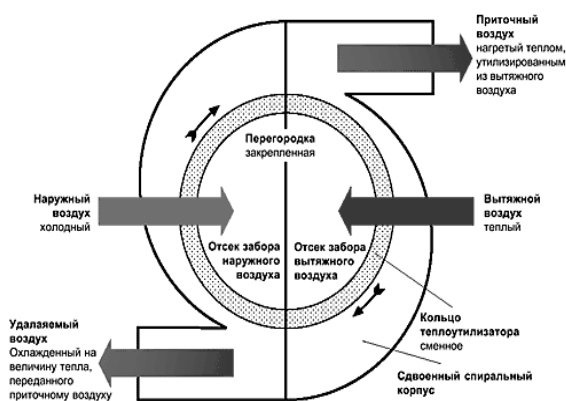


Рис. 3.29. Вентиляторы-теплоутилизаторы

В рекуперативном перекрестноточном теплообменнике два потока воздуха—удаляемый и наружный полностью разделены и не контактируют друг с другом (Рис. 3.28).

Коэффициент эффективности обратного получения тепла выражает отношение между максимально возможным полученным теплом и теплом, полученным в действительности. Теоретически эффективность может меняться в пределах от 0 до 100 %. Стопроцентная эффективность означает, что абсолютно все тепло было передано, и температура подводимого воздуха равняется температуре отводимого воздуха. Это технически не реализуемо. Нулевой коэффициент эффективности означает, что не произошло никакого обмена тепла, и что температура подводимого воздуха равняется температуре наружного воздуха. Реальный коэффициент ( $\eta$ ) обычно доступного воздухотехнического оборудования с рекуперацией тепла колеблется в пределах от 30 до 80 %, причем показатель свыше 60 % считается очень хорошим.

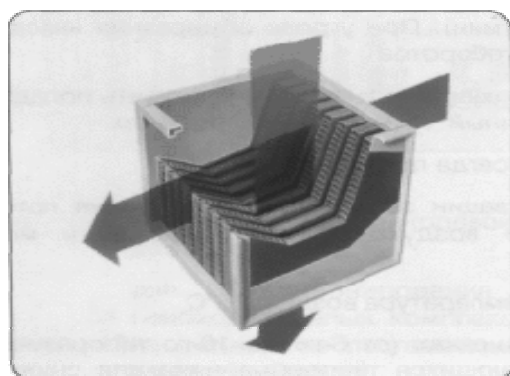


Рис. 3.28. Рекуперативный перекрестноточный теплообменник

В спиральном корпусе **вентилятора-теплоутилизатора** (Рис. 3.29) с двумя всасывающими и двумя выпускными отверстиями и рабочим колесом из пористого материала одновременно производится перемещение наружного вытяжного воздуха и обмен тепла. Рабочее колесо вентилятора служит при этом для передачи тепла. КПД теплообмена не зависит от разницы температур.

### 3.8. Энергосберегающие системы аспирации в деревообработке.



До недавнего времени единственным вариантом системы аспирации являлась вентиляционная установка, удаляющая воздух от станков (вместе с древесными отходами), улавливающая пыль в аппаратах циклонного типа и выбрасывающая воздух в атмосферу. Возврат очищенного воздуха в помещение в этом случае невозможен, так как остаточная концентрация пыли в воздухе составляет не менее  $30 \text{ мг/м}^3$  (для идеально изготовленного и смонтированного циклона), что в шесть раз превышает ПДК на рабочем месте. Таким образом, традиционная аспирационная система загрязняет атмосферу и выбрасывает на улицу огромное количество тепла. Этого можно избежать, применяя вместо циклона фильтр, очищающий воздух до концентрации, позволяющий вернуть его в цех. При этом затраты, как ни странно, оказываются ниже. Оставив в стороне экологический аспект проблемы, сравним затраты на монтаж центральной системы производительностью  $15000 \text{ м}^3/\text{ч}$  с циклоном и системы с фильтром. При этом не будем учитывать одинаковые затраты в первом и втором случае. Как видно из данных, приведенных в таблице 1, монтаж традиционных систем связан со значительными дополнительными затратами. При этом разница в стоимости циклона и фильтра покрывается затратами на топливо за один только отопительный сезон даже при односменной работе и двух выходных дней в неделю (при использовании котла, работающего на дизельном топливе).

При обработке древесины на деревообрабатывающих станках образуется большое количество древесных сыпучих отходов (стружки, опилки, древесная пыль). Удаление сыпучих отходов от станков и перемещение их к месту утилизации производится цеховыми пневмотранспортными установками (системами аспирации). Эти установки выполняют важную санитарно-гигиеническую функцию: обеспыливание рабочей зоны – одно из основных мероприятий по охране труда и окружающей среды. Установка состоит из разветвленной сети трубопроводов с приемниками-пылеуловителями у каждого из станков, пылевого вентилятора и пылеочистного устройства с бункером-накопителем отходов. В качестве очистных устройств традиционно применяли устройства инерционного типа циклоны, которые имеют ряд существенных недостатков. Первая степень очистки воздуха циклоном в лучшем случае достигает 97 - 98,5%, что приводит к загрязнению окружающей среды в районе расположения предприятия. Во-вторых, очищенный в циклонах воздух

выбрасывается в атмосферу, и вместе с ним в холодное время в атмосферу выбрасывается огромное количество тепла. Эффективность работы системы аспирации обеспечивается обычно при 8÷12 кратном обмене воздуха в помещении цеха. Компенсация тепловых потерь осуществляется в системах притока с калориферами и требует больших энергетических и материальных затрат.

Избежать таких затрат можно, применяя вместо циклонов пылеочистные устройства контактного типа – рукавные фильтры (рис. 3.30), степень очистки воздуха которыми достигает 99,9%, что позволяет системе работать в режиме рециркуляции воздуха. Таким образом, практически исключается выброс древесной пыли в атмосферу и до минимума снижаются теплотери. Правда это справедливо для небольших производств

### 3.6. Чистка вентиляции

В процессе эксплуатации в воздуховодах и оборудовании систем вентиляции происходит накопление отложений пыли и жира, что приводит к затруднению поддержания заданных



Рис.3.30. Пылеотсос одноместный для удаления стружки, опилок и древесной пыли от д/о станков и их фильтрации

параметров воздуха и необходимости чистки вентиляции. Загрязненные воздуховоды систем вентиляции и кондиционирования создают возможность возникновения пожаров, что является еще одним доводом в пользу важности чистки вентиляции. Скопившиеся в вентиляционном оборудовании и воздуховодах отложения пыли и жира, легко воспламеняются, и с движением воздуха внутри воздуховодов огонь быстро распространяется по всему зданию. Если система вентиляции, помимо транспортировки воздуха, предназначена для его нагревания, охлаждения и

увлажнения, то скопившиеся отложения пыли создают благоприятную почву для роста опасных для человека клещей, бактерий, грибов и других микроорганизмов.

Если систематически не проводить чистку вентиляции, со временем микроорганизмы могут отрываться от поверхности воздуховодов и переноситься потоком воздуха в обслуживаемые помещения. Такие заболевания как аллергия, грипп, "болезнь легионеров", а также атипичная пневмония (SARS) могут передаваться посредством вентиляции, от зараженного человека к здоровому. Безусловно, не качество воздуха является основной причиной подобных заболеваний, но определенно способствует их развитию – очередной довод важности чистки вентиляции.

Чистка вентиляции, дезинфекция систем вентиляции и кондиционирования должна проводиться на регулярной основе, согласно требованиям ряда нормативных документов.

Для инспекции, дезинфекции и чистки вентиляции используются различные технологии и оборудование, позволяющее производить работы, не доставляя неудобств людям, находящимся в здании.

#### 4.0 Вредные выделения и необходимый воздухообмен в помещениях

В зависимости от назначения помещений и технологических процессов, осуществляемых в них, меняется и характер загрязняющих воздух вредных выделений. В жилых и общественных помещениях источниками вредных выделений являются в основном люди, а в промышленных помещениях, кроме того, — производственные установки (печи, ванны, станки и пр.).

В жилых и общественных зданиях основными вредными выделениями являются углекислота, теплоизбытки, влагоизбытки, в промышленных помещениях – различные газы и пары, теплоизбытки, влагоизбытки и пыль.

Вентиляция должна обеспечивать в помещениях метеорологические условия в полном соответствии с требованиями СанПиН

#### 4.1. Газовыделения.

Содержание газов, паров и пыли не должно превышать предельно допустимых концентраций (ПДК). Предельно допустимой концентрацией называется такое количество тех или иных вредных выделений в воздухе помещения, которое не вызывает неблагоприятного воздействия на организм человека. Источниками газовыделения в производственных помещениях могут быть:

- Технологические процессы;
- Емкости и аппараты;
- Ванны;
- Утечки во фланцевых соединениях и сальниковых уплотнениях;
- Животные;
- Люди.

Для помещений, в которых не имеется производственных выделений газов (жилые, общественные), нормирование производится по двуокиси углерода. Предельно допустимые концентрации  $\text{CO}_2$ , л/м<sup>3</sup>, в воздухе помещений составляют:

При постоянном пребывании людей (жилые комнаты)	1
При периодическом пребывании людей (учреждения)	1,25
При кратковременном пребывании людей (например, кинотеатры)	2
Детские учреждения и больницы	0,7

При расчете необходимого воздухообмена в помещении по выделяемой в них углекислоте количество углекислоты, выделяемой одним человеком, принимают по табл. 4. 1.

Углекислота сама по себе не является вредной, но концентрация ее в воздухе свыше 2 л/м<sup>3</sup> служит указанием о наличии недопустимого загрязнения воздуха сопутствующими ей газами, являющимися продуктом распада белковых веществ.

Таблица. 4.1.-Количество углекислоты, выделяемой одним человеком

Возраст людей и характер выполняемой работы	Выделения $\text{CO}_2$ ;	
	объемный л/ч	массовый г/ч
Взрослые люди при выполнении работы:		

умственной (или в состоянии покоя)	23	45
Физической:		
легкой	30	60
тяжелой	45	90
Дети до 12 лет	12	24

Содержание CO<sub>2</sub> в наружном воздухе больших городов можно принимать равным 0,5 л/м<sup>3</sup>, небольших городов—0,4 л/м<sup>3</sup>.

#### 4.2. Тепловыделения.

Обычно производительность систем вентиляции и кондиционирования определяется избытком **тепла** и **влаги** в теплый период года. При недостатке тепла в холодный период применяют обогревательные системы.

В летнем тепловом режиме на здание действуют совместно несколько факторов поступления тепла. Это солнечная радиация, параметры наружного воздуха, а также внутренние тепlopоступления. Поддержание заданных условий усложняется тем, что тепlopоступления не стационарны, а меняются в течение суток.

Одна из задач проектирования систем кондиционирования и вентиляции —это расчет летнего теплового режима здания. Важно учесть все факторы, влияющие на баланс тепла и влаги в помещении. Выделяют две основные категории поступления тепла:

- Наружные нагрузки, возникающие вне помещения
- Внутренние нагрузки, возникающие в здании, тепловой баланс которого рассчитывается.

Наружные нагрузки, возникающие вне помещения, делятся на несколько групп:

1. **Теплопередача через стены, потолки, полы.** Она зависит от разности внутренней и внешней температуры и степени теплоизоляции здания. Летом температура в здании ниже, чем на улице, и тепlopоступление положительно. Зимой же разность температур снаружи здания и внутри него отрицательна, и поток тепла направлен из помещения вовне.

2. **Поступление тепла от излучения солнца через застекленные проемы.** Тепlopоступление от излучения всегда положительно (или равно нулю, если застекленных проемов нет). Летом эту тепловую нагрузку надо компенсировать. Количество теплоты солнечной радиации зависит от формы и размеров световых проемов, типа заполнения проемов, ориентации проема по отношению к сторонам света и др. параметров.

3. **Тепlopоступления от внешнего воздуха, проникающего в помещение.** Воздух попадает в помещение при вентиляции, а также может инфильтроваться через неплотности проемов (обычно при проектировании системы кондиционирования в помещении предусматривается избыточное давление, чтобы воздух не инфильтровался). Параметры наружного воздуха (температура и влажность) сильно меняются в течение года, но практически никогда не совпадают с требуемыми в помещении параметрами. Поступление тепла от внешнего воздуха может быть как положительным, так и отрицательным, в зависимости от времени года.

Внутренние тепловые нагрузки, возникающие в помещении, зависят от назначения помещения. Они делятся на несколько типов:

1. **Тепло, выделяемое людьми.** Оно зависит от количества людей и рода их занятий, а также условий в помещении.

2. **Тепло, выделяемое осветительными приборами:** люминесцентными лампами и лампами накаливания. Эта величина зависит от мощности освещения, типа ламп и способа их расположения.

3. **Тепло, выделяемое электроприборами:**

- в жилых помещениях—бытовыми приборами: холодильниками, теле- видеотехникой, плитами и т.п.

- в офисных помещениях—компьютерами, принтерами, бытовыми вентиляторами, копирами и т.п.

- в производственных помещениях—оборудованием, электродвигателями и т.п.

4. Тепло, выделяемое **горячими материалами и поверхностями** (или поглощение–холодными)–(аппараты и реактора, трубопроводы, газопроводы и газоходы и т.д.).

5. **Тепловыделения при процессах** (сгорание веществ, химические реакции, сварка, плавка и т.д.)

Таблица 4.2.-Количество тепла и влаги, выделяемых одним человеком при температуре воздуха 10 и 35 С

Характер выполняемой работы	Тепло полное, Вт		Влага, г/ч	
	при 10° С	при 35° С	при 10°С	при 35° С
Состояние покоя	160	93	30	115
Физическая:				
легкая	180	145	40	200
средней тяжести	215	195	70	280
тяжелая	290	290	135	415

Для помещений, в которых не имеется производственных избыточных выделений тепла (жилые, общественные), нормирование производится по теплу, выделяемому организмом человека. Количество тепла, выделяемого человеком, зависит от метеорологических параметров окружающего воздуха и характера выполняемой им работы. Выделение тепла происходит в основном с поверхности тела путем конвекции, излучения и испарения влаги.

Количество тепла, выделяемого одним человеком, указано в табл. 4. 2

#### 4.3. Влаговыведения.

Большое количество влаги может выделиться в отдельных производственных помещениях от оборудования (кожевенная и пищевая промышленности, бани, сауны, бассейны, прачечные и т.д.).

Источниками влаговыведения в производственных помещениях могут быть:

- Технологические процессы;
- Емкости;
- Ванны;
- Утечки во фланцевых соединениях и сальниковых уплотнениях;
- Влажные материалы;
- Поверхности оборудования;
- Проникновение водяного пара с наружным воздухом.

Для жилых и общественных помещений, в которых не имеется производственных избыточных влаговыведений, нормирование производится по влаге, выделяемой организмом человека. Выделение влаги людьми в помещениях зависит от выполняемой ими работы, а также от метеорологических условий в помещении

Количество влаги  $W$ , г/ч, выделяемой людьми, определяют по формуле

$$W = n \cdot g \quad (XI\ 9)$$

где  $n$ –число людей,  $g$ –количество влаги, г/ч, выделяемой одним человеком зависящее от характера выполняемой им работы (см табл XI 2).

Влага в помещении может не только выделяться, но и поглощаться (например, гигроскопическими материалами). Величина влагопоглощения определяется обычно опытным путем.

При расчете вентиляции жилых зданий, а ряд позиций пригоден и для офисов, учитываются факторы, приведенные в табл.

Таблица 4.3. Влагодотдача в жилых помещениях.

Горшочные растения	7-15 г/час
Фикус среднего размера	10-20 г/час
Сушка белья, барабан 4,5 кг с центрифугой	50-100 г/час
Ванная комната	примерно 1100 г за 1 купание
Душевая кабина	примерно 1700 г за 1 купание
Блюда быстрого приготовления	400-500 г/час варки

Блюда длительного приготовления	450-900 г/час варки
Посудомоечная машина	около 200 г за 1 процесс мытья
Стиральная машина	200-350 г за 1 стирку
Человек	
- во время сна	40-50 г/час
- при выполнении работы по дому	около 90 г/час
- при напряженной деятельности	около 175 г/час

#### 4.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОБХОДИМЫХ ВОЗДУХООБМЕНОВ

В зависимости от характера и вида вредных выделений меняется методология расчета необходимых воздухообменов.

##### 4.4.1. Определение необходимого воздухообмена при борьбе с вредными газами и парами.

Воздухообмен  $L$ , м<sup>3</sup>/ч, рассчитывают по формуле

$$L = U / (K_2 - K_1)$$

где  $U$ —количество вредных газов и паров, выделяющихся в помещении в течение 1 ч, мг/ч;  
 $K_2$ —предельно допустимая концентрация вредных выделений в воздухе помещения, мг/м<sup>3</sup>;  
 $K_1$ —концентрация вредных выделений в приточном воздухе, мг/м<sup>3</sup>.

При одновременном выделении в воздух нескольких раздражающих газов (серный и сернистый ангидрид, хлористый водород и др.) или при выделении окислов азота совместно с окисью углерода необходимый воздухообмен определяют суммированием объемов воздуха, потребных для разбавления каждого вредного выделения до нормы. При одновременном выделении других газов количество вентиляционного воздуха принимают по тому вредному выделению, которое требует наибольшего объема воздуха

Пример 4.1. Определить необходимый воздухообмен по  $CO_2$  в зрительном зале кинотеатра объемом 2000 м<sup>3</sup> и вместимостью 500 человек. Количество  $CO_2$ , выделяемого зрителями,  $U = 23 * 500 = 11500$  л/ч. Предельно допустимая концентрация  $CO_2$  в воздухе помещения при кратковременном пребывании людей  $K_2 = 2$  л/м<sup>3</sup>

Решение: Примем содержание  $CO_2$  в наружном воздухе 0,5 л/м<sup>3</sup>. Тогда необходимый воздухообмен по формуле (XI. 12) составит:

$$L = 11500 / (2 - 0,5) = 7670 \text{ м}^3\text{ч.}$$

Отношение количества удаляемого или вводимого воздуха в помещении в течение 1 ч к внутреннему объему помещения называется кратностью обмена  $n$ . В данном примере  $n = 7670 / 2000 \approx 3,9$ .

Большинство помещений жилых и общественных зданий, а также вспомогательных зданий заводских площадок характеризуется постоянным составом и интенсивностью вредных выделений. Поэтому для них установлены нормы кратности обмена, которыми и пользуются при определении необходимых воздухообменов. Нормы кратности для некоторых помещений приведены в справочниках.

##### 4.4.2. Воздухообмена для удаления избыточного тепла.

Можно считать, что в летнее время все тепло, которое поступает в помещение  $Q_{изб.}$ , является суммой тепловыделений в помещении

В зимнее время часть тепловыделений в помещении расходуется на компенсацию теплопотерь.

Теплоизбытки  $Q_{изб.}$ , кДж/ч, в зимнее время равны:

$$Q_{изб.} = \Sigma Q_T - Q_{пот}$$

где  $\Sigma Q_T$ —тепловыделения в помещении;  $Q_{пот}$ —потери тепла через наружные ограждения при расчетной температуре наружного воздуха, принимаемой в холодный период года по СНиП.

Необходимый воздухообмен  $L$ , м<sup>3</sup>/ч, для борьбы с явными теплоизбытками определяют по формуле

$$L = Q_{изб.} / c * \rho * (t_{yx} - t_{np}) \quad (XI.13)$$

где  $Q_{изб}$ —теплоизбытки в помещении, кДж/ч;  $c$ —массовая удельная теплоемкость воздуха, равная 1 кДж/(кг \*°C);  $\rho$ —плотность воздуха, поступающего в помещение, кг/м<sup>3</sup>;  $t_{yx}$  и  $t_{пр}$ —температура удаляемого и приточного воздуха, °C

Температуру наружного воздуха в теплый период года принимают равной средней температуре самого жаркого месяца в 13 ч.

#### 4.4.3. Определение необходимого воздухообмена для удаления избыточной влаги.

В зимнее время повышенная влажность воздуха в помещении недопустима, поскольку при повышенной влажности водяной пар будет конденсироваться на внутренних поверхностях наружных ограждений. В общественных и жилых помещениях относительная влажность не должна превышать 65%

Необходимый воздухообмен  $L$ , м<sup>3</sup>/ч, при наличии только влагоизбытков определяется по формуле

$$L = W / \rho * (d_{yx} - d_{пр}) \quad (XI.15)$$

где  $W$ —количество водяного пара, выделяющегося в помещении, г/ч;  $d_{yx}$ —допустимое содержание водяного пара в воздухе помещения при установленной средней температуре и относительной влажности воздуха, г/кг;  $d_{пр}$ —влагосодержание наружного воздуха г/кг;  $\rho$ —плотность поступающего в помещение воздуха, кг/м<sup>3</sup>

#### 4.3.4. Определение необходимого воздухообмена при одновременном поступлении в помещение тепла и влаги.

В этом случае можно использовать графоаналитический метод с применением I—d-диаграммы.

Определив тепло- и влагоизбытки в помещении, находят угловой коэффициент луча процесса  $\varepsilon$ . Затем наносят на I—d диаграмму точку П, соответствующую состоянию приточного воздуха, поступающего в помещение, и проводят через нее луч процесса, характеризующего изменение состояния воздуха, ассимилирующего тепло и влагу.

Конечное состояние воздуха, удаляемого из помещения, принимают по его температуре или предельной относительной влажности.

Точка  $B$ , соответствующая состоянию воздуха, удаляемого из помещения, определяется как точка пересечения луча процесса с заданной изотермой  $t_{const}$ .

**Пример 4.2.** Определить необходимый воздухообмен для помещения с тепловыделениями 210000 кДж/ч и влаговыделениями 60 кг/ч. Приточный воздух поступает в помещение с температурой 21° C и энтальпией 44 кДж/кг. Температура удаляемого воздуха не должна превышать 26°С, а относительная влажность не должна превышать 65%.

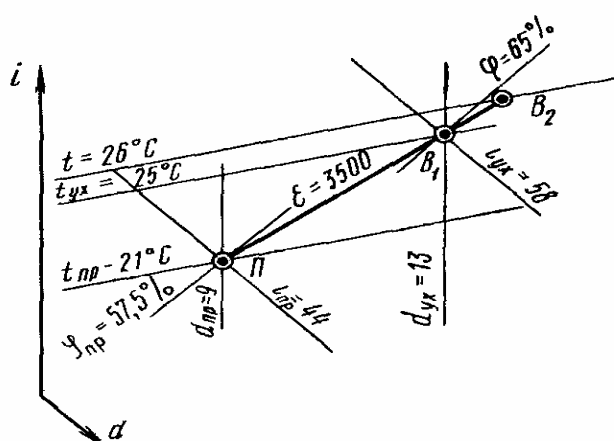


Рис. 3.31. Определение воздухообмена при одновременном поступлении в помещение тепла и влаги с применением I—d-диаграммы.

Решение. 1. На I—d диаграмме (Рис. 3.31) находим точку П с заданными параметрами приточного воздуха и графически определяем соответствующее им значение влагосодержания  $d_{пр}=9$  г/кг и значение относительной влажности  $\varphi_{пр} = 57,5\%$ .

2. Определяем угловой коэффициент луча процесса:

$$\varepsilon = Q/W = 210000/60 = 3500.$$

3. Через точку П проводим луч процесса  $\varepsilon = 3500$ , пересекающий кривую относительной влажности  $\varphi = 65\%$  в точке  $B_1$  и изотерму  $t = 26^\circ \text{C}$  в точке  $B_2$  (рис. XI 3)

Определяющей в данном примере является относительная влажность, так как параметры точки  $B_1$  удовлетворяют заданным условиям, а в точке  $B_2$  они нарушаются—относительная влажность больше 65%.

4. Графически определяем параметры точки  $B_1$ :  $t_{yx} = 25^\circ \text{C}$ ;  $d_{yx} = 13$  г/кг;  $i_{yx} = 58$  кДж/кг;  $\varphi_{yx} = 65\%$

5. Определяем массу вентиляционного воздуха:

а) по разности энтальпий

$$G = Q / (i_{yx} - i_{np}) = 210000 / (58 - 44) = 15\,000 \text{ кг/ч};$$

б) по разности влагосодержания

$$G = W / (d_{yx} - d_{np}) = 60 \cdot 1000 / (13 - 9) = 15000 \text{ кг/ч}$$

откуда потребный воздухообмен

$$L = G / \rho = 15000 / 1,201 = 12500 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Здесь  $\rho$  — плотность воздуха при  $t_{np} = 21^\circ \text{C}$ .

#### 4.3.5. Определение необходимого воздухообмена для борьбы с пылью.

Необходимый расход воздуха для обеспыливающей вентиляции определяется данными технологов и нормами проектирования. Предельно допустимое содержание пыли в воздухе рабочей зоны помещения регламентируется СН в зависимости от степени ее воздействия на организм человека.

Среднее содержание пыли в наружном воздухе зависит от степени благоустройства населенных пунктов, характера промышленных предприятий, интенсивности и транспортного движения и колеблется в широких пределах. В центральных районах больших городов оно может составлять  $0,5 \text{ мг/м}^3$  и более, в небольших населенных пунктах —  $0,3\text{—}0,4 \text{ мг/м}^3$ .

Частицы пыли, находящейся в воздухе, имеют разные форму и плотность. Крупные частицы пыли оседают с различными скоростями, а менее крупные сталкиваются, укрупняются и оседают. В соответствии с указаниями СНиП и перед выбросом в атмосферу воздуха, удаляемого системами местных отсосов, следует предусматривать систему очистки. Степень очистки выбросов, содержащих пыль, установлена в зависимости от предельно допустимой концентрации пыли в воздухе рабочей зоны производственных помещений. Концентрация пыли в приточном воздухе систем вентиляции не должна превышать 30% допустимой концентрации для рабочей зоны.

Задачи по борьбе с производственными вредными выделениями, следует решать, применяя прежде всего герметизацию пылящего оборудования, различные укрытия, а также увлажнение. Для локализации пылевыведяющих очагов применяют в основном кожухи-ограждения (укрытия).

Табл. 4.4.-Допустимое содержание пыли в воздухе, выбрасываемом в атмосферу

Предельно допустимая концентрация пыли в воздухе рабочей зоны помещения, $\text{мг/м}^3$	Допустимое содержание пыли в воздухе, выбрасываемом в атмосферу, $\text{мг/м}^3$
<2	30
2—4	60
4—6	80
6—10	100

#### 5.1. Показатели эффективности вентиляции

Основной целью процесса вентиляции является повышение качества внутреннего воздуха путем замены воздуха в помещении. Кроме того, процесс вентиляции часто используется для поддержания определенной температуры в зоне обслуживания. На эти параметры оказывает воздействие не только расход вентиляционного воздуха, но и в большой степени структура потока воздуха в помещении. Обеспечение необходимого расхода кондиционированного воздуха и эффективное распределение воздуха в вентилируемом помещении являются существенными требованиями для создания комфортных условий, удаления загрязняющих веществ и сокращения первоначальной стоимости и эксплуатационных расходов системы кондиционирования воздуха и вентиляции.

Степень выполнения системой вентиляции предъявляемых к ней требований рассматривается в литературе на основе многих показателей. В настоящее время для количественных оценок систем вентиляции помещений Федерацией европейских ассоциаций в области отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (REHVA) рекомендуются ряд показателей. Эти показатели можно разделить на группы:

А. Показатели, определяющие способность системы вентиляции заменять воздух в помещении.

**А.1.** Показатель эффективности воздухообмена  $\varepsilon^a$ .

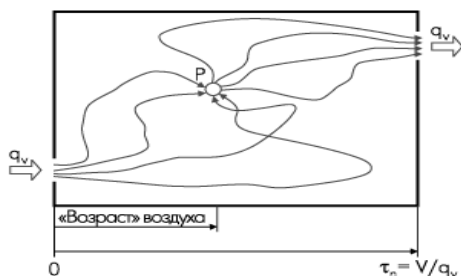
**А.2.** Показатель локального воздухообмена  $\varepsilon_p^a$ .

**Б.** Показатели, определяющие способность системы вентиляции удалять присутствующие в воздухе загрязняющие вещества.

**Б.1.** Показатель эффективности удаления загрязняющих веществ (CRE)  $\varepsilon^c$ .

**Б.2.** Показатель локального качества воздуха  $\varepsilon_p^c$ .

Какие показатели выбирать для оценок—зависит от конкретных целей системы вентиляции. Показатели эффективности воздухообмена группы А могут применяться в случаях отсутствия или недостатка информации об источниках загрязнений, в то время как показатели группы Б могут использоваться при наличии детальной информации об источниках загрязнений.



**Рис. 3.32.** Определение «возраста» воздуха ( $V$ —объем воздуха,  $q_v$ —расход вентиляционного воздуха)

Концепция среднего «возраста» воздуха является концепцией стационарного режима, основанной на распределении времени нахождения молекул воздуха в заданной точке. Время отсчитывается от момента ввода воздуха в помещение (рис. 5.1). Находящийся в определенной точке воздух является смесью молекул, находящихся в помещении различное время, в течение которого в смесь добавляются молекулы загрязняющих веществ. Таким образом, средний «возраст» воздуха в точке  $\bar{\tau}_p$  представляет собой меру качества воздуха в этой точке. При полном перемешивании воздуха в помещении средний «возраст» воздуха в точке должен быть одинаковым во всем пространстве помещения. Если в

системе имеется короткое замыкание приточного устройства на устройство вытяжки, средний «возраст» воздуха в зоне замыкания будет меньше, чем аналогичный показатель в застойной зоне. У вытяжного устройства средний «возраст» воздуха всегда равен номинальному постоянному времени  $\tau_n$ :

$$\tau_n = V/q_v \quad (5.1)$$

где  $V$  — объем помещения,  $q_v$  — расход вентиляционного воздуха.

Средний «возраст» воздуха для всего находящегося в помещении воздуха равен усредненному по пространству среднему «возрасту» воздуха в точках  $\langle \bar{\tau} \rangle$ , а время воздухообмена во всем помещении  $\bar{\tau}_r$  равно удвоенному среднему «возрасту» воздуха в помещении. Для облегчения понимания этих разных «возрастов» воздуха часто проводят аналогию с населением. Средний «возраст» воздуха, покидающего помещение, можно сравнить со средним возрастом умерших людей, а средний «возраст» воздуха в помещении — со средним возрастом живущих в данный момент людей.

Как было отмечено выше, эффективность воздухообмена  $\varepsilon^a$  есть показатель скорости замены воздуха в помещении. Средний «возраст» воздуха, выходящего из помещения, равен среднему времени пребывания вентиляционного воздуха в помещении и равен номинальному постоянному времени  $\tau_n = V/q_v$  ( $V$ —общий объем помещения,  $q_v$ — расход вентиляционного воздуха). Теоретически этот показатель равен минимально возможному времени замены воздуха в помещении, но это действительно только для однонаправленного потока воздуха. Фактическое время воздухообмена непосредственно связано со средним «возрастом» воздуха в помещении. Время воздухообмена для всего воздуха в помещении  $\bar{\tau}_r$  равно удвоенному значению среднего «возраста» воздуха в помещении. Эффективность воздухообмена  $\varepsilon^a$  определяется как отношение минимально возможного времени воздухообмена в помещении или номинального постоянного времени  $\tau_n$  к фактическому времени замены воздуха  $\bar{\tau}_r$ :

$$\varepsilon_a = (\tau_n / \bar{\tau}_r) \cdot 100 = \tau_n / 2 \langle \bar{\tau} \rangle \cdot 100 [\%]. \quad (5.2)$$

Верхним пределом этого показателя эффективности является 100 %, что может быть возможно для идеального поршневого режима потока воздуха. В табл. 5.1 приведена сводка показателей эффективности воздухообмена при различных условиях потока воздуха в помещении.



Таблица 5.1-Показатели эффективности воздухообмена при различных условиях потока воздуха в помещении

Структура потока воздуха	Эффективность воздухообмена, $\epsilon$
Идеальный поршневой режим потока воздуха	100%
Вытесняющая вентиляция	$50\% \leq \epsilon^a < 100\%$
Полное перемешивание	50%
Короткое замыкание	$\leq 50\%$

В случае полного перемешивания средний «возраст» воздуха в точке одинаков по всему объему помещения и равен номинальному постоянному времени. В этом случае показатель локального воздухообмена равен 100 % по всему помещению.

Эффективность удаления загрязняющих веществ (CRE)  $\epsilon_c$  является показателем скорости удаления присутствующих в воздухе загрязнений. Этот показатель определяется как отношение концентрации загрязняющих веществ при установившемся состоянии в вытяжном воздухе  $c_e(\infty)$  к средней концентрации загрязняющих веществ в помещении при установившемся состоянии  $\langle c(\infty) \rangle$ .

$$\epsilon^c = [c_e(\infty) / \langle c(\infty) \rangle] \cdot 100 [\%]. \quad (5.3)$$

В ситуации полного перемешивания воздуха в помещении концентрация загрязняющих веществ в вытяжном воздухе равна концентрации в помещении, при этом CRE=100 %. При других условиях CRE может меняться от очень небольших значений до очень больших, в зависимости от положения источника загрязнений и характера потока воздуха в помещении. Значение CRE меньше 100 % означает, что эффективность системы вентиляции ниже, чем в случае простого полного перемешивания воздуха в помещении. При равномерном распределении источника загрязнений, что часто бывает, если основными источниками загрязнений являются сами люди, находящиеся в помещении, максимальное значение CRE, равное 200 %, достигается при идеальном поршневом режиме потока воздуха. При неравномерном распределении источников загрязнений положение источника оказывает значительное влияние на значение CRE и большое значение этого показателя еще не говорит об удовлетворительной работе системы вентиляции. В установившемся состоянии концентрация загрязняющих веществ в вытяжном воздухе зависит от интенсивности выделений загрязнений  $S$  и расхода вентиляционного воздуха  $q_v$ . Эта величина определяется как

$$c_e(\infty) = S / q_v. \quad (5.4)$$

В большинстве случаев этот показатель легко может быть замерен в вытяжном канале. При наличии нескольких каналов выражение 4.5 записывается в виде

$$c_e(\infty) = (\sum q_{vi} c_{vi}) / \sum q_{vi}. \quad (5.5)$$

Оценка среднего «возраста» воздуха осуществляется при помощи замера концентрации пробного газа тремя методами:

- понижением концентрации пробного газа;
- повышением концентрации пробного газа;
- импульсным методом.

При использовании метода понижения концентрации пробного газа в помещение выпускается небольшое количество пробного газа, и после его полного перемешивания с внутренним воздухом и образования равномерной концентрации газа по всему помещению производится замер концентрации загрязняющих веществ в вытяжном воздухе  $c_e(0)$ . Начальное время замера устанавливается как  $t=0$ . Далее, благодаря работе системы вентиляции содержание пробного воздуха понижается, в это время выполняются замеры концентрации газа или в определенной точке помещения, или в вытяжном потоке, в зависимости от того, какой показатель «возраста» воздуха определяется.

При использовании метода повышения концентрации пробного газа он вводится в помещение непрерывным и постоянным потоком в приточный канал для определения эффективности воздухообмена или в определенной точке помещения для определения показателей эффективности удаления загрязняющих веществ (CRE).

При использовании импульсного метода пробный газ вводится в помещение коротким импульсом от устройства подачи, помещенного или в приточном канале для определения эффективности воздухообмена, или в определенной точке помещения для определения показателей эффективности удаления загрязняющих веществ (CRE).

Концентрация загрязняющих веществ измеряется в точке в помещении, в результате измерений вычисляется средний «возраст» воздуха в точке.

Для большинства измерений при определении эффективности вентиляции требуется пробный газ. В некоторых случаях могут использоваться газы, выделяемые в помещение в процессе работы различных устройств и людей. При необходимости использования пробного газа должны быть выполнены некоторые требования. Однако идеальных пробных газов не существует, поэтому при работе с газами необходимо учитывать следующие аспекты:

- Пробный газ не должен быть естественной составляющей воздуха в помещении, по крайней мере, его содержание не должно быть настолько велико, чтобы оно могло исказить результаты измерений концентрации загрязняющих веществ.

- Для хорошего перемешивания с внутренним воздухом плотность идеального пробного газа должна быть равна плотности воздуха в помещении.

- Пробный газ должен быть химически стабильным, чтобы во время измерений не происходило никаких реакций с воздухом или с другими материалами в помещении.

- Пробный газ не должен прилипать к поверхностям или поглощаться поверхностями различных предметов в помещении.

- Пробный газ должен быть доступен за разумную цену, т. е. он должен входить в ассортимент запасов каждого поставщика газов.

- Параметры газа должны легко замеряться при помощи доступного коммерческого оборудования.

- Пробный газ не должен быть токсичен, не должен оказывать вредного воздействия на окружающую среду.

- Пробный газ должен быть негорючим.

На практике в качестве пробных газов применяют  $N_2O$  и  $SF_6$ , а также фреоны (CFC).

Эффективность удаления загрязняющих веществ определяется как отношение измеренной концентрации загрязняющих веществ в вытяжном воздухе к концентрации в точке или усредненной концентрации для нескольких точек в помещении.

Эффективность вентиляции—это величина, показывающая, как быстро загрязнённый воздух удаляется из помещения. Она определяется отношением концентрации вредных примесей, содержащихся в вытяжном воздухе к концентрации вредных примесей в помещении.

$$\epsilon_m = \frac{C_e}{C_m} \cdot 100\%$$

где:  $\epsilon_m$ —вентиляции;  $C_e$ —концентрация вредных примесей в вытяжном воздухе;  $C_m$ — концентрация вредных примесей в воздухе помещения.

Эффективность вентиляции часто используется для качественной оценки способности системы обеспечивать комфортные условия по чистоте воздуха. Данный показатель находится в зависимости от геометрии помещения, взаимоположении приточных и вытяжных отверстий и плотности распределения источников вредных примесей в помещении.

Вентиляция вытеснением позволяет получить значения эффективности вентиляции свыше 100%, в то время как при вентиляции перемешиванием они не превышают 100%.

Коэффициент воздухообмена. Данный параметр характеризует скорость замещения воздуха в помещении. Он зависит от условий раздачи воздуха в помещении, расположения и размеров диффузоров, расположения источников тепла и т.д.

$$\epsilon_a = \frac{\tau_n}{2 \cdot \tau_m} \cdot 100\%$$

где:  $\varepsilon_a$  – эффективность воздухообмена;  $\tau_n$  – отношение объема поступающего воздуха к объему помещения;  $\tau_p$  – средний «возраст» (время пребывания) воздуха в помещении.

При применении метода вытеснения, возможно получить значения коэффициента воздухообмена от 50 до 100%, в то время как при вентиляции перемешиванием они не превышают 50%.

### **6.1. Литература основная:**

Ананьев В.А., Балуева Л.Н., Гальперин А.Д. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика. – М.: Евроклимат, 2000. – 416 с.

Балабеков О. С. Очистка газов в химической промышленности: Процессы и аппараты / О. С. Балабеков, Л. Ш. Балтабаев.-М: Химия, 1991.-250 с.

Белевицкий А.М. Проектирование газоочистных сооружений. - М.: Химия, 1990. -288 с.

Козлов Ю.С. Материаловедение.-М.: Агар, 1999. – 181 с.

Родионов А. И. Защита биосферы от промышленных выбросов. Основы проектирования технологических процессов: учебное пособие /А. И. Родионов, Ю. П. Кузнецов, Г. С. Соловьев.-М.: КолосС: Химия, 2005.-387 с.

Родионов А.И., Кузнецов Ю.П. Оборудование, сооружения, основы проектирования химико-технологических процессов защиты биосферы от промышленных выбросов. - М.: Химия, 1985.-352 с.

Свистунов В.М., Пушняков Н.К. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: Учебник для ВУЗов.-Спб.: Политехника, 2004.- 322 с.

Семенова И. В. Коррозия и защита от коррозии: Учебн. пособие / И. В. Семенова, Г.М. Флорианович, А.В. Хорошилов.-М.: Физматлит, 2002.-336 с.

### **6.2. Литература дополнительная:**

Беккер А. Системы вентиляции.-М.:Техносфера Евроклимат,2005.-231 с.

Вавальский М.М., Чебан Ю.М. Защита окружающей среды от химических выбросов промышленных предприятий. – Кичнев: Штиинца, 1990. – 211 с.

Ильичев В. Д., Бочаров Б. В., Горленко М. В. Экологические основы защиты от биоповреждений. - М.: Наука, 1995, - 248. с.

Исаев М.И. Теория коррозионных процессов. Учебник. – М.: Металлургия, 1997. – 344 с.

Кузнецов М.В., Новоселов В.Ф., Тугунов П.И. Противокоррозионная защита трубопроводов и резервуаров. - М.: Недра, 1992. - 238 с.

Курсовое и дипломное проектирование по вентиляции гражданских и промышленных зданий. – М.: Стройиздат, 1985. – 208 с.

Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. - М.: Машиностроение, 1990. - 528с.

Плудек В. Защита от коррозии на стадии проектирования: Пер. с англ./Под ред. А. В. Шрейдера. - М: Мир, 1980, - 438 с.

Тимонин А. С. Основы конструирования и расчета технологического и природоохранного оборудования: Справочник / А. С. Тимонин; Московский государственный университет инженерной экологии. - Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 2001- Т. 1.-2001.-756 с. Т. 3.-2001.-960 с.

Тимонин А. С. Инженерно-экологический справочник. В 3-ех томах- Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 2003.

Торочешников Н.С., Родионов А.И. Техника защиты окружающей среды.-М.:Химия, 1981.-368 с.

Штокман Е.А. Очистка воздуха. – М.: АСВ, 1999. – 319 с.

### **6.3. Учебно-методические пособия**

Ананьев В.А., Балуева Л.Н., Гальперин А.Д. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика. – М.: Евроклимат, 2000. – 416 с.

Афонин Ю.М. Конструктивные элементы систем вентиляции и их подбор: Учеб. пособ. - Саратов: Изд. СПУ, 1977. - 62 с.

Бочкарев В. В. Теоретические основы технологических процессов охраны окружающей среды: Учебное пособие / В. В. Бочкарев; Томский политехн. ун-т; ИДО.-Томск: Изд-во ТПУ, 2002.-125 с.

Вентиляция, кондиционирование и очистка воздуха на предприятиях пищевой промышленности: Учебное пособие для вузов / Е. А. Штокман, В. А. Шилов, Е. Е. Новгородский и

др.; Под ред. Е. А. Штокмана.-М.: Изд-во АСВ, 2001.-688 с.

Егиазаров А.Г. Устройства и изготовление вентиляционных систем: Учеб. пособ. -М.: Высшая школа, 1987. - 303 с.

Егоров Ю.П., Лозинский Ю.М., Роот Р.В., Хворова И.А. Материаловедение. Учеб. пос. – Томск: ТПУ, 1999. - 160 с.

Захарченко Н.Ф., Гончарук Е.И., Кошелев Н.Ф. и др. Защита окружающей среды от техногенных воздействий. Учебное пособие /Под общей ред. Г. Ф. Невской. М.: Изд-во МГУ, 1993. – 216 с.

Инженерная охрана окружающей среды: Учебное пособие для вузов. / Б.И Горбунов, А.В Козлов, Г.Б Ионова и др..- 2-е издание, переработанное и дополненное. - Нижний Новгород: НГСА, 2003.- 116 с.

Инженерная защита окружающей среды: Учебное пос. для студентов вузов/ Воробьев, Николай Николаевич. - СПб.: Лань, 2002.- 288 с.

Кравцов В. В. Коррозия и защита конструкционных материалов. Принципы защиты от коррозии: Учебное пособие для вузов / В. В. Кравцов.-Уфа: Изд-во УГНТУ, 1999.-157 с.

Лозановская И.Н., Орлов Д.С., Садовникова Л.К. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. Учеб. пособие для хим.-технол. и биол. спец. вузов. – М.: Высшая школа, 1998. – 287 с.

Никулина И.М. Технические средства защиты окружающей среды. Учебное пособие.- М.: МИЭТ, 2002.-322 с.

Строительные материалы: Учебное пособие / Томский политехнический университет; Сост. Л. А. Строкова.-Томск: Изд-во ТПУ, 2003.-144 с.

Ильичев В. Ю. Основы проектирования экобиозащитных систем: Учебное пособие /В. Ю. Ильичев, А. С. Гринин; Под ред. А. С. Гринина.-М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2002.-207 с.

Инженерная защита окружающей среды в примерах и задачах. Учебное пособие/ Под ред. Воробьева О.Г.- С-Пб.: Лань, 2002. -324 с.

Ляпков А. А. Технология производств очистки промышленных выбросов: Учебное пособие / А. А. Ляпков; Томский политехн. ун-т.-Томск: Изд-во ТПУ, 2002.-254 с.

Техника и технология защиты воздушного среды. Учебн. пособ./В.В. Юшин, Д.А. Кривошеин, П.П. Кукин. - М.: Высшая школа, 2003. – 142 с.

#### **6.4. Интересные сайты по данной тематике**

<http://www.inrost.ru/>

<http://www.airkool.ru/gost.php>

<http://www.mkc-ltd.ru/>

<http://www.klimat-group.ru/>

<http://www.lissant.ru/>

[http://blagovest.brigada.biz./](http://blagovest.brigada.biz/)

<http://www.biznes-russia.ru/>

<http://www.ventprom.com/>

<http://www.simplexgroup.ru/>

<http://www.profiko.ru/>

<http://www.stroit.ru>

<http://www.aquamaster.net.ru>

<http://www.konsar.ru/>

<http://www.grmti.ru>

<http://www.avmsystem.ru/>

<http://www.baltcomfort.spb.ru>

#### **6.5 Нормативная документация**

##### **6.5.1. ГОСТы**

ГОСТ 9.102-91– Единая система защита от коррозии и старения. Воздействие биологических факторов на технические объекты. Термины и определения

ГОСТ 25199-82 (СТ СЭВ 2145-80)–Оборудование пылеулавливающее. Термины и определения.

ГОСТ Р 50820-95.–Оборудование газоочистное и пылеулавливающее. Методы определения запыленности газопылевых потоков.

ГОСТ 12.3.018-79 –Системы вентиляционные. Методы аэродинамических испытаний.

ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности

ГОСТ 27409-97 –Шум. Нормирование шумовых характеристик стационарного оборудования.

ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны

ГОСТ 30494-96 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений

ГОСТ 17.2.4.06-90. –Методы определения скорости и расхода газопылевых потоков, отходящих от стационарных источников загрязнения.

### **6.5.2. Строительные и санитарно-эпидемиологические правила и нормативы**

СанПиН 2.2.4.1294-03–Гигиенические требования к аэронному составу воздуха производственных и общественных помещений.

СНиП 2.04.05-91–Отопление, вентиляция и кондиционирование.

СНиП 41-01-2003. –Отопление, вентиляция и кондиционирование.

СНиП 2.04.14-88. –Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов.

СНиП 41-03-2003. – Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов.

СНиП 2.08.02-89. –Общественные здания и сооружения.

СНиП 21-01-97. –Пожарная безопасность зданий и сооружений.

СНиП 23-01-99. –Строительная климатология.

СНиП 23-02-2003. – Тепловая защита зданий.

СНиП 23-03-2003. – Защита от шума.

СНиП 31-01-2003. –Здания жилые многоквартирные.

СНиП 31-03-2001. –Производственные здания.

СНиП 31-05-2003. – Общественные здания административного назначения.

СанПиН 2.2.4.548-96.–Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

СанПиН 2.1.2.1002-00.–Санитарно-эпидемиологические требования к жилым зданиям и помещениям.

НПБ 105-03.–Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

НПБ 239-97. –Воздуховоды. Метод испытаний на огнестойкость.

НПБ 241-97. –Клапаны противопожарные вентиляционных систем. Методы испытаний на огнестойкость.

НПБ 253-98–Оборудование противодымной защиты зданий и сооружений. Вентиляторы. Методы испытаний на огнестойкость.

ПУЭ–Правила устройства электроустановок.

**ОБОРУДОВАНИЕ И ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Учебное пособие

Виктор Тимофеевич Новиков

Научный редактор доктор химических наук, профессор В.М. Сутягин

Подписано к печати

Формат 60x84/16. Бумага офсетная.

Плоская печать. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. .

Тираж 100 экз. Заказ . Цена свободная.

ИПФ ТПУ. Лицензия ЛТ N 1 от 18.07.94.

Типография ТПУ. 634034, Томск, пр. Ленина, 30.