

**Л. Ф. Долина**

**Техноэкология  
для  
строителей**



**Днепропетровск  
2006**

**Л.Ф.Долина**

**ТЕХНОЛОГИЯ  
ДЛЯ  
СТРОИТЕЛЕЙ**

**Часть 1**

Рекомендовано Научно методической комиссией по направлению «Водные ресурсы» при Министерстве транспорта и связи Украины в качестве учебного пособия.

Днепропетровск  
Континент  
2006

УДК 504.064.4(075.8)

ББК 33.72

Д 64

Рецензенты :

**Савин Л.С.** – д.т.н., профессор кафедры экологии и охраны окружающей среды Приднепровской академии строительства и архитектуры;

**Рожко В.К.** – д.т.н., профессор, зав. кафедрой гидравлики Приднепровской академии строительства и архитектуры;

**Беляев Н.Н.** – д.т.н., профессор, зав. кафедрой гидравлики, водопользования и экологической безопасности Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта им. академика В. Лазаряна.

Д 64 **Долина Л.Ф.** Технология для строителей.- Днепропетровск :

Континент.2006 - 256 с.

ISBN 966-375-470-7

Освещены вопросы загрязнения природной среды предприятиями строительной индустрии. Рассмотрены основные методы защиты окружающей среды (вод, атмосферы, почв и земельных ресурсов) на строительных предприятиях.

Для студентов и специалистов-экологов.

Висвітлено питання забруднення природного середовища підприємствами будівельної галузі. Розглянуто основні методи захисту навколишнього середовища (вод, повітря, ґрунтів та земельних ресурсів) на будівельних підприємствах.

Для студентів і фахівців-екологів.

ISBN 966-375-470-7

УДК 504 .064.4(075.8)

ББК 33.72

© Л.Ф. Долина.

## Содержание

### Предисловие

Глава 1. Общая характеристика предприятий строительной индустрии...	стр.7
1.1. Принципиальные технологические процессы в строительной индустрии. Недостатки и достоинства.....	стр.15
1.2. Свойства строительных материалов, обуславливающих загрязнение окружающей среды.....	стр.19
1.3. Общая характеристика влияния строительных предприятий на окружающую среду.....	стр.21
Глава 2. Влияние цементного завода на окружающую среду и мероприятия, направленные на уменьшение загрязнения.....	стр.27
2.1. Общая характеристика цементного завода.....	стр.27
2.2. Источники загрязнения вод и очистка сточных вод.....	стр.29
2.3. Загрязнения и очистка воздуха на цементном заводе.....	стр.32
2.4. Примеры расчётов пылегазоочистного оборудования цементных заводов.....	стр.39
Глава 3. Заводы строительных материалов и изделий.....	стр.43
3.1. Общая характеристика предприятий.....	стр.43
3.2. Источники загрязнения вод и воздуха на заводах строительных материалов и методы их очистки.....	стр.49
3.3. Асфальтное производство.....	стр.55
Глава 4. Заводы по производству крупных панелей, железобетонных изделий и конструкций.....	стр.56
Глава 5. Влияние керамических, керамзитовых и фаянсовых заводов на окружающую среду и разработка мероприятий, направленных на уменьшение загрязнений.....	стр.59
5.1. Общая характеристика предприятий.....	стр.59
5.2. Особенности технологии изготовления керамических изделий.....	стр.60
5.3. Технологии производства и источники загрязнения вод.....	стр.65
5.4. Загрязнение и очистка воздуха на предприятиях.....	стр.69

Глава 6. Загрязнение окружающей среды при производстве санитарно-технических изделий из фаянса.....	стр.73
Глава 7. Предприятия по производству гипса и гипсовых изделий.....	стр.75
Глава 8. Заводы мягкой кровли и гидроизоляционных материалов.....	стр.76
(кровельного картона, толя, рубероида, изола и пороизолола).	
8.1. Долговечность материалов на основе битумов, дегтя и смол и экологические проблемы, связанные с их использованием.....	стр.76
8.2. Производство картона и рубероида.....	стр.82
8.3. Производство изола и пороизола.....	стр.86
Глава 9. Заводы строительного и технического стекла.....	стр.89
9.1. Сырьё, технология получения и свойство стекла.....	стр.89
9.2. Производство строительных изделий из стекла и загрязнение окружающей среды.....	стр.94
9.3. Влияние производства стекла на загрязнение атмосферы.....	стр.97
Глава 10. Заводы и цеха по производству строительных изделий из полимерных материалов (пластмасс).....	стр.105
10.1. Классифик. полимерных веществ и материалов на их основе.....	стр.105
10.2. Технология изготавл. строительных полимерных материалов.....	стр.114
10.3. Характеристика строительных материалов на основе полимерных веществ.....	стр.116
10.4. Оценка долговечности строительных материалов. Проблемы экологии производства и применения полимерных материалов.....	стр.125
10.5. Экотехнологии вторичного использования пластмасс.....	стр.130
10.6. Влияние заводов и цехов по производству строительных изделий из пластмасс на окружающую среду.....	стр.134
Глава 11. Лакокрасочные материалы в строительной индустрии.....	стр.145
11.1. Особенности использования лакокрасочных материалов и оценка их экологичности.....	стр.145
11.2. Влияние лакокрасочных производств на окружающую среду.....	стр.148
Глава 12. Охрана атмосферного воздуха от выбросов предприятий строительной индустрии.....	стр.156
12.1. Источники загрязнения атмосферы в строительной индустрии...	стр.156
12.2. Расчет выбросов от теплоэнергетич. установок (котельных).....	стр.162
12.3. Методы очистки атмосферного воздуха.....	стр.170
12.3.1. Механические методы очистки пылегазообразных выбросов...	стр.172

12.3.1.1. Гравитационные и инерционные пылеуловители.....	стр.172
12.3.1.2. Центробежная очистка газовых выбросов от пыли.....	стр.176
12.3.1.3. Вихревые пылеуловители.....	стр.183
12.3.1.4. Мокрая очистка газовых выбросов.....	стр.184
12.3.1.5. Очистка выбросов предприятий от пыли методом фильтрации...	стр.199
12.3.2. Физические методы очистки пылегазообразных выбросов.....	стр.205
12.3.3. Физико-химические методы очистки пылегазообраз. выбросов.	стр.211
12.4. Выбор оборудования для механической очистки выбросов на основе их характеристик...	стр.219
12.5. Расчет оборудования для механической, физической и физико-химической очистки выбросов.....	стр.222

Литература

Приложения

### **Предисловие**

В современном обществе резко возрастает роль технической экологии, призванной на основе оценки степени вреда приносимого природе индустриализацией, разрабатывать и совершенствовать инженерно-технические средства защиты окружающей среды, всемирно развивать основы создания замкнутых, безотходных и малоотходных технологий производства строительной индустрии.

В связи с этим важное место в деле охраны окружающей среды отводится экологическому образованию и воспитанию инженерно-технических специалистов. Также специалисты должны иметь высокое экологическое сознание, новое экологическое мышление, свободно владеть знаниями в различных экологических направлениях науки, экономическими, социальными, правовыми аспектами взаимоотношений общества и природы.

Решение задач, связанных с улучшением экологического состояния строительной отрасли, начинать надо ещё на стадии проектирования и реконструкции предприятий, выбора экологически чистых технологий и материалов, а также экологически безопасного оборудования и установок [1-4]. Одновременно каждый специалист строительной отрасли должен уметь выбрать оптимальные конструкции пыле -, газо - и водоочистных сооружений, свободно владеть методами экологического мониторинга.

Учебное пособие анализирует экологическое состояние на предприятиях в строительной индустрии, выявляет основные источники загрязнения атмосферного воздуха, производственных сточных вод и грунтов.

Дается характеристика основных методов и способов очистки атмосферного воздуха, производственных сточных вод и грунтов от различных вредных веществ на предприятиях строительной индустрии, разработаны технологические схемы очистки сточных вод и воздуха для различных строительных предприятий, описаны конструкции и принципы работы основных пыле -, газо- и водоочистных сооружений, даются рекомендации относительно их внедрения на строительных предприятиях. Надо отметить, что в данном учебном пособии впервые собран материал, касающийся вопросов экологии в строительной индустрии. Все предыдущие издания были подготовлены для горной и чёрной металлургии, машиностроения, легкой промышленности и пр.[5-9]

Вопросам экологического мониторинга автором этой книги были посвящены предыдущие издания[10-11]

Материалы учебного пособия будут полезны не только специалистам, но и студентам при выполнении курсовых, бакалаврских и дипломных проектов, так как автор читает курс "Техноэкология" в Приднепровской академии строительства и архитектуры.

В заключении хотелось бы привести цитату из "Послания к нации японского правительства", которое в полной мере может быть отнесена к украинской нации: "Мы должны быстро адаптироваться к постоянно совершенствующейся технологии и внешним условий современного мира. В настоящий момент самая важная задача для японцев (то же для украинцев) - это успеть на поезд всемирного технологического прогресса".\*

\*)**Техно (technē (лат):** - искусство, мастерство-часть сложных слов, что соответствует понятию" технологичный"[12].

**Технология** – совокупность рационально выполняемых процедур и процессов в определённой отрасли деятельности или промышленности, а также научное описание способов изготовления чего-нибудь.

**Техноэкология** – это часть или раздел экологии, занимающийся изучением влияния технической деятельности человека на природную среду и методам борьбы с загрязнением окружающей среды, а также альтернативной формой хозяйствования.

## **Глава 1. Общая характеристика предприятий строительной индустрии.**

*Промышленность строительных материалов* - важная составная часть материально-технической базы строительства. Развитие производства строительных материалов в значительной мере обуславливает и объёмы капитального строительства и его прогресс. Отрасль базируется на значительных местных сырьевых ресурсах (каменные строительные материалы, известняк, глины и др.).

Производство строительных материалов является одной из отраслей тяжелой промышленности и важнейшей составной частью строительного комплекса. Промышленность строительных материалов имеет многоотраслевой характер. Она объединяет отрасли добывающей

промышленности (естественный камень и нерудные материалы); перерабатывающей промышленности (изделия асбоцемента, сборный железобетон и др.); смешанные подотрасли, которые объединяют добычу и переработку сырья и материалов. Специфику промышленности строительных материалов определяет еще и такая её особенность, как взаимозаменяемость продукции.

Основной продукцией промышленности строительных материалов в Украине является быстро застывающий, декоративный и другие виды цемента, крупноразмерные волнообразные и плоские асбестоцементные листы, асбестоцементные трубы повышенной напорности, цветные керамические плитки, керамическая сантехника, теплозащитное, профильное и украшающее стекло, стеклоблоки, детали из плотного и пористого силикатного бетона, тепло- и звукоизоляционные материалы, полимерные стройматериалы и др.

**Главные отрасли производства строительных материалов** - цементная промышленность и производство строительных конструкций и деталей.

Цементная промышленность - одна из важнейших отраслей промышленности строительных материалов, предприятия которые изготовляют разные виды цемента - «хлеба» строительной индустрии. Цемент - тонко измельченный порошок искусственного неорганического вяжущего вещества, изготовленного из известкового сырья (известняк, мергель). При смеси с водой (водными растворами солей и другими жидкостями) он сначала уплотняется, а затем отвердевает, соединяет заполнители или камни. Его используют больше всего в производстве бетонных и железобетонных изделий и конструкций, для изготовления строительных растворов.

**Промышленность строительных конструкций и деталей** объединяет предприятия по производству сборного железобетона, строительных металлических конструкций и столярных изделий, которые, как правило, тяготеют к большим промышленным центрам и узлам, населенным пунктам со значительным объемом жилищного и общественного строительства. В строительстве также используется продукция некоторых других отраслей промышленности: стеклянной, фарфорофаянсовой (оконное стекло), химической промышленности (полиэтиленовая пленка). Строительная база является одной с наиболее капиталоемких, дифференцированных по уровню элементов производственной инфраструктуры. Ее влияние и определение темпов, масштабов размещения производства во многих случаях оказывается решающим. Она объединяет подрядные строительные организации, монтажные, специализированные организации, а также организации, которые выполняют работы хозяйственным способом. Развитие строительной индустрии зависит от объема и темпов развития ряда отраслей промышленности, черной металлургии, машиностроения, энергетики, промышленности строительных материалов, деревообрабатывающей промышленности и других, что обуславливает сложные межотраслевые связи капитального строительства. Размещение предприятий строительных материалов и строительной индустрии имеет свои особенности:



- 1) притяжение к источникам сырья в связи с низкой транспортабельностью сырья и ее значительными расходами при производстве продукции (цементные, гипсовые, нерудные и другие предприятия);
- 2) притяжение к районам потребления (заводы сборного железобетона, растворов и другие).

Производство строительных материалов объединяет несколько тысяч предприятий, расположенных во всех областях Украины. Так, центры производства продукции цементной и стеклянной промышленности, а также промышленности строительной керамики ориентированны на сырьевые районы.

Цементная промышленность особенно развитая в Донецко - Приднепровском экономическом районе (Донецкая область, Кривой Рог, Днепропетровск, Днепропетровской области). В Юго- Западном экономическом районе производство цемента в основном сосредоточено во Львовской и Ровенской областях. В этой промышленности созданные такие новые центры Балаклея (Харьковская область), Камянец - Подольской (Хмельницкая область), Ольшанское (Николаевская область). Если брать производство строительной керамики, то в Украине действуют большие механизированные предприятия в Донецкой, Харьковской, Львовской и Хмельницкой областях.

В Украине работают 37 заводов стеклянной промышленности. Мощнейшие из них расположенные в городах Константинове, Лисичанске, Львове, Херсоне, Керчи, Одессе, пгт. Бучи (Киевская область). Заводы промышленности стеновых материалов расположены в таких городах:

- производство глиняного кирпича - Ирпине (Киевская область), Запорожье, Полтава.
- Производство силикатного кирпича - Херсон, Днепропетровск, Кривой Рог, Черкассы, Чернигов, Красный Лиман (Донецкая область), Триполья (Киевская область), Ладыжин (Винницкая область), Розвадовое (Львовская область);
- заводы силикатных Изделий - Сумы, Николаев, Белгород – Днестровский (Одесская область), Славута (Хмельницкая область).

Производства промышленности нерудных промышленных материалов расположены во многих районах страны. Основные из них находятся в Запорожье, Житомире, Кривом Роге, Киеве, Днепропетровске, Донецке, Гниване, Коростене, Славянске, Кременчуге, Хусте и др.

Теперь перейдем к вопросу основных показателей. Здесь имеется в виду современное состояние отрасли и прогнозные оценки ее развития.

Резкий спад инвестиционной деятельности негативно повлиял на работу промышленности строительных материалов и спрос на ее продукцию. За 1991-1997гг. объем товарной продукции отрасли сократился в 4,4 раза, производство железобетона - в 9,7, цемента - в 4,5, стеновых материалов - в 5,6 раза.[5]

Предприятия отрасли много лет работали практически на износ, что в условиях экономического кризиса поставило их на границу развала.

Повышения цен на энергоносители и тарифов на грузоперевозку, а также

высокое налоговое давление вызывали рост стоимости продукции отрасли и, как следствие, спад конкурентоспособности. Решение проблемы отрасли усложнено чрезвычайно низким техническим уровнем многих ее предприятий. Избыточный износ основных фондов приводит к аварийному состоянию многих кирпичных и цементных заводов и других предприятиях промышленности строительных материалов, резкого снижения уровня использования мощностей, падения престижности профессии строителя. На рынках стала неконкурентной продукция, что производится по старым технологиям и оснащению. В первую очередь это касается энергоемких стройматериалов: железобетонная, керамического кирпича, цемента и других материалов и конструкций, которыми сейчас перенасыщен рынок. Одной из наиболее энергоемких отраслей промышленности строительных материалов является цементное производство, где расходы на топливо и электроэнергию составляют почти половину себестоимости его производства. В связи с дефицитом топлива и ростом цен на энергоносители реконструкция цементной промышленности является одной из первоочередных.

Спрос существует на относительно дешевые нетрадиционные строительные материалы, которые имеют высокие потребительские свойства (например, изделия из простых и ноздреватых бетонов, материалы из золошлаковых бетонов), повышается он также на престижные и дорогие материалы для индивидуального и офисного строительства (черепица, высококачественные керамические, фаянсовые, столярные изделия, отделочные материалы, предметы домоустройства, а также системы автономного жизнеобеспечения усадеб и офисов, включая автономные системы отопления, кондиционирования, водоснабжения и водоотвода).

Потенциальный спрос на нетрадиционные и высококачественные материалы сейчас имеет тенденцию к росту.

Начиная с 1996 года, прогнозируется наращивание объемов производства строительных материалов, конструкций, деталей и предметов домоустройства. Это связано с оживлением инвестиционной и подрядной деятельности в стране, необходимостью структурной и технологической перестройки практически всех отраслей национальной экономики. До 2015 года товарную продукцию промышленности строительных материалов прогнозируется увеличить по сравнению с 1997 годом в 3,3 раза, что на несколько пунктов выше темпов роста строительно-монтажных работ. Это связано с необходимостью опережающего развития этой отрасли, повышение технического уровня ее предприятий, качества продукции этой инвестиционно - обеспечивающей отрасли.

Низшими темпами по отношению к росту объемов товарной продукции предусматривается выпуск конструкций и изделий из железобетона в связи с заменой его на эффективные металлоконструкции, что имеют значительно меньшую ресурсоемкость и массу. Состоятся также значительные изменения в структуре стеновых материалов. В общем их объеме вырастет удельный вес изделий из легких, пористых и ноздреватых, многослойных эффективных панелей типа «сэндвич» и др.

Данные об объемах производства конструкций и изделий железобетона, цемента и стеновых материалов за 1990-1997 годы и прогноз за два варианта оценок их производства до 2010 года приведено в табл.1-2:

**Таблица 1. Статистические данные производства в строительной отрасли**

Года	Динамика	Объём продукции
	производства	в ценах, 1996 г.
	продукции, %	млн. грн.,
	(1990г.= 100%)	
1990	100	9712
1991	101	9809
1992	98	9518
1993	83	8016
1994	52	5050
1995	38	3690
1996	25	2428
1997	23	2236

**Таблица 2. Прогнозируемые статистические данные развития строительной отрасли**

Года	Прогноз. динамика		Прогноз	
	производства		объема	
	продукции, %		продукции	
			в ценах	
			1996 г., млн..	
	(1990г.= 100%)		(1990г.= 100%)	
	1	2	1	
1998	23,1	23,2	2240	2250
1999	24,9	25	2420	2430
2000	26,8	27,6	2600	2680
2005	36,8	38,8	3560	3770
2010	48,8	53,4	4740	5190
	1-пессимистический вариант			
	2-оптимистический вариант			

## Сырье и материалы

Сырьем для многих строительных материалов являются полезные ископаемые. Ниже приведены некоторые из них с указанием местонахождения:

- **магнезит**, месторождения которого есть в Донецкой области
- **доломит** – Донбасс.
- месторождения **бокситов** находятся в Донбассе ;
- **кремний** - Донецкая и Волынская области;
- кварцевый песок - месторождения есть в Донецкой и Волынской областях;
- **полевые шпаты** добывают в Донецкой и Волынской областях;
- **кварциты** добывают в Донбассе и в Житомирской области;
- **силиманит** в некоторых регионах Украины;
- **из фосфатных руд** на территории Украины добывают фосфориты - на Волыно - Подольске, Приднестровье, Ивано - Франковской обл. (Незвиское) и Сумской обл. (Кролевецкое);
- **огнестойкие глины** концентрируются на Донбассе (Часовярское, Новорайское) и Приднепровье (Поволжское, Пятихатское, Кировоградское);
- **бентонитовые глины** - Закарпатская, Львовская, Тернопольская, Донецкая области и Крым;
- достаточные запасы **формировочных песков аллювиального и морского происхождения** существуют в Харьковской, Донецкой,

Запорожской и других областях.

Наше государство полностью обеспечено сырьем для производства строительных материалов. Как цементное сырье используются карбонатные породы (известняк, мел, мергели), гипсы, глины, которые встречаются по всей территории Украины, но наиболее - в Донецкой, Черниговской, Ивано - Франковской областях и в Крыму. Глины, суглинки, глинистые сланцы и мергели, что пригодные для производства кирпича и черепицы, распространены практически на всей территории Украине (кроме Крыма и Карпат). Разведанные запасы кварцевых песков составляют 220 млрд. тонн и сконцентрированные в 24 районах. Кроме сырья, которое нужно обрабатывать, в Украине находятся очень богатые залежи строительных камней (около 8 млрд. м разведанных запасов) и качественного облицовочного (свыше 280 млн. м<sup>3</sup>).

**Легковесные огнеупорные изделия** (Михайловский завод огнеупоров г. Сумы) производятся из высококачественного украинского сырья, являются высокоэффективными теплоизоляторами и экологически чистыми продуктами. Применяются для теплоизоляции: термо - и электропечей, обжиговых печей строительных материалов, теплообменной аппаратуры, выпарных агрегатов, подогревателей, газовых печей, котлоагрегатов всех конструкций, паропроводов, печей металлургической и коксохимической промышленности. Этим же заводом производится **заполнитель огнеупорный шамотный легковесный** (кромка легковесная обожжённая плотностью от 0,4 до 0,8 г/см<sup>3</sup>) в соответствии с ТУ У 26.2 – 001990503-252-2004. Применяется кромка в качестве наполнителя при изготовлении жаростойких и лёгких бетонов, в качестве засыпки для теплоизоляции промышленных сооружений, тепловых печей и технологического оборудования при температуре до 1150°C. Кроме добываемых из недр Земли различных материалов, в строительстве используются отходы металлургической, горной, химической и других отраслей промышленности.

#### **Доменные, сталеплавильные и ферросплавные шлаки.**

Ежегодно производятся в количестве сотен миллионов тонн, а перерабатывается только 20%. Из шлаков получают цементный клинкер, гранулированный шлак, литой щебень, шлаковую пемзу, керамзит, шлаковату, минеральную вату, литые плиты и брусчатку. Из доменных шлаков получают шлакоситалл. Ферросплавные шлаки, содержащие хром, окислы марганца, карбид кремния, используют в черной металлургии и в производстве удобрений. Из сталеплавильных шлаков необходимо извлекать металл, содержание которого составляет до 20%. На основе шлакощелочного цемента могут быть получены железобетонные изделия с бетоном класса до В120, обладающие повышенной стойкостью в агрессивных средах. При этом могут быть использованы загрязненные заполнители с глинистыми включениями. Наиболее эффективна комплексная переработка шлаков, заключающаяся в извлечении ценных составляющих и последующем изготовлении строительных материалов и изделий. Из гранулированного шлака получают шлакощелочное высокопрочное вяжущее.

Шлаки доменные гранулированные для производства цементов комбината «Криворожсталь»

Шлак доменный гранулированный производится путем превращения огненно-жидкого шлакового расплава в мелкозернистое состояние при быстром охлаждении двумя способами:

- в шлакоперерабатывающем цехе - гидрожелобным полусухим способом на центральной гранустановке (измельчение шлакового расплава при сливе из шлаковых ковшей струями воды, подаваемой из гидронасадок под давлением);

- в доменном цехе № 2 - водо-воздушным способом на припечных гранустановках

(измельчение водо-воздушной струей шлакового расплава, подаваемого непосредственно из доменной печи по желобу на гранулятор).

Шлаки доменные гранулированные для производства цементов производятся в соответствии с ГОСТ 3476-74

Наименование показателя	Норма для 3-го сорта
Коэффициент качества, не менее	1,2
Содержание окиси алюминия ( $Al_2O_3$ ), %, не менее	не нормируется
Содержание окиси магния ( $MgO$ ), %, не более	15
Содержание двуокиси титана ( $TiO_2$ ), %, не более	4
Содержание закиси марганца ( $MnO$ ), %, не более	4
Влажность, %, (в зависимости от погодных условий)	15-20

Шлаки доменные отвальные металлургического комбината

"Криворожсталь" для. дорожного строительства.

Исходным сырьем для производства шлака доменного отвального служат высокоосновные шлаки доменного цеха № 1, выдержанные в отвале для приобретения устойчивой структуры. Технология производства шлака доменного отвального включает:

- выбор отвала для разработки с учетом сроков его выдержки для приобретения устойчивой структуры;

- подготовка исходного материала экскаватором ЭКГ-5А (рыхление, отбор негабаритных кусков шлака, извлечение скрапа);

- отгрузку подготовленного материала - шлака доменного отвального экскаватором в транспорт потребителя.

Шлаки доменные отвальные металлургического комбината "Криворожсталь" для дорожного строительства производятся в соответствии с ТУ У В.2.7-45.2-24432974-002-2003

Наименование показателя	Значение
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup> , не более	1400

Влажность, %, не более	15
Содержание фракции с размером меньше 5 мм, % по массе, не менее	25
Содержание включений, фракции 70-150 мм, % по массе, не более	10
Содержание металлических включений (скрапа), %, не более	5
Содержание примесей, %, не более	3

Шлаки доменные отвалы предназначены для использования в дорожном строительстве согласно с ДБН В.2.3-4 для обустройства слоев основ дорожной одежды автомобильных дорог II-V категорий во всех климатических зонах Украины.

**Вскрышные породы** и хвосты обогащения. Образуются при добыче и обогащении железной руды в количестве сотен миллионов кубических метров ежегодно, при этом в строительстве используется только 8...9% отого объема. Из вскрышных скальных пород и хвостов обогащения в настоящее время изготавливают щебень, песок, песчано-гравийную смесь. В перспективе эти отходы должны полностью утилизироваться при изготовлении цемента, известняковой муки, извести, силикатного и глиняного кирпича, керамических труб и других материалов и изделий.

**Стеклобой.** Образуется на предприятиях стекольной промышленности, пищевых предприятиях и в строительстве. Его используют как добавление в стекломассу при варке стекла, изготовлении различных облицовочных плиток, пористых - и теплоизоляционных материалов. Все шире предлагается ввод молотого стеклобоя в разнообразные композиции для получения облицовочных материалов с заполнителями из естественного камня.

**Отходы камнепиления.** В большом количестве образуются в тех регионах, где производится изготовление каменных блоков и плит из естественного камня. На территории Украины накоплены десятки миллионов кубических метров отходов камнепиления известняка (терса)

Связывая эти отходы каким-либо недорогим вяжущим, можно получить достаточно прочные (класса В 5... В 60) блоки и плиты, которые можно применять в качестве блоков стен, кирпича, облицовочных и тротуарных плит. Так, например, в Днепропетровской академии строительства и архитектуры, разработан искусственный материал широкого назначения на основе использования отходов камнепиления известняков Крыма. Один из материалов, содержащий до 90% молотой терсы и молотую силикат-глыбу, после сушки при температуре до 250°C получается прочным, с объемной массой до 2000 кг/м<sup>3</sup>. Другой материал, в котором основной частью является молотая силикат-глыба, с добавкой молотой терсы и воды, при температуре до 250°C вспучивается и в результате получается изоляционный материал с объемной массой 250...600 кг/м<sup>3</sup>.

**Фосфогипс.** В большом количестве образуется при производстве фосфорных удобрений. В настоящее время около 20% этих отходов используется при производстве гипсового вяжущего, цемента, а также для известкования кислых почв. Ведутся исследования по применению фосфогипса при изготовлении различных строительных элементов, деталей,

штукатурных растворов, шпаклевок. Однако вследствие радиоактивности фосфора все изделия должны проверяться на радиоактивность.

**Древесные отходы** с предприятий лесозаготовительной, лесоперерабатывающей, деревоперерабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности. Идут на изготовление щепы, применяемой при производстве древесноволокнистых и древесно-стружечных плит. Однако используют только 60% отходов, а многие виды отходов (кора, опилки, зеленая масса) не используют. В то же время в наиболее развитых странах перерабатывают все виды отходов - пни, сучья, опилки, причем объем переработки возрастает.

Весьма эффективным направлением является применение размельченных отходов и опилок при изготовлении стеновых блоков для индивидуального строительства (опилкобетон).

Эффективность использования древесных отходов очень велика: 1 тыс.м<sup>3</sup> отходов при производстве ДСП экономит 3, 4 тыс.м<sup>3</sup> пилючного сырья.

### **1.1 Принципиальные технологические процессы в строительной индустрии. Недостатки и достоинства.**

#### **Строительный кирпич.**

Для производства кирпича используются в основном легко плавные глины средней пластичности, которые содержат до 45- 50 % песка без больших включений извести и камня. Потери при прожаривании этой глины 3,3- 13,3 %, ее линейная усадка при сушке 5- 12 %, линейная усадка при выжигании до 1000° С 5- 9 %; водопоглощение после выжигания до 1000° С 8- 12 %.

Добытая в карьере и доставленная на завод глина поддается обработке. При этом распадается ее естественная структура, она равномерно перемешивается с добавками, увлажняется к состоянию однородного рабочего теста.

Теперь наведем средние нормы расходов сырья на 1000 штук кирпича:

- глиняный кирпич- обычный пластического формования- 2,5 м,
- обычная вакуумная- 2,75 м<sup>3</sup>,
- с пустотой в 40 %- 1,5 м<sup>3</sup> .

Доза глины, песка, опилок и других компонентов производится в ящиковом питателе, который равномерно подает массу в последующие агрегаты. Подаватель ящиков - открытый сверху прямоугольный ящик, дно которого образует ленточный транспортер, что состоит из металлических пластин. По длине ящик подаваемого компонента зависит от высоты поднятия щита. Производительность подавателя ящиков обуславливается скоростью ленты и высотой подъема переднего щита. Производительность подавателя - 10-35 м \час, то есть он может обеспечить выпуск 12 тыс. штук сплошного кирпича через час. Рядом с выгрузочным отверстием установлено вал с лопастями из металлической ткани, которые при обороте ваны вала сбрасывают массу из ленты в выгрузочное отверстие и разбивают большие куски. Дальше измельченное сырье обрабатывается на валковых измельчителях, которые разделяются на гладкие, дезинтеграторные, камнеотделяющие и зубчатые. Устройство дезинтеграторных валков состоит

из гладкого вала большого диаметра, ребристого вала малого диаметра и приемной воронки для глины. Скорость вращения большого вала 50- 60 об\мин., малого вала 500- 600 об\мин. Глина ударами ножей ребристого вала разрезается на части и продавливается под действием сжимающих усилий валков. Глина с каменистыми включениями или масса поступает на бегуны мокрого помола, которые состоят из чаши с дырчатым дном и двух катков. Глина измельчается этими катками и продавливается через отверстие на дне чаши. В бегунах глина выдерживает сжимающие нагрузки, периодически попадает под каток. Производительность бегунов 10-28 т\час и больше.

Массу, которая прошла обработку на валовых измельчителях, направляют на валы тонкого помола, после чего масса идет на глиномешалку(корыто, в котором вращается один или два вала с лопастями). Глиномешалки имеют длину 3- 4 м, их производительность до 30 м<sup>3</sup> \час, что обеспечивает выпуск 10 тыс. штук кирпича в час. Масса в глиномешалке увлажняется водой или паром. В результате увлажнения глины паром повышается способность массы к формированию, и улучшаются сушильные качества сырья. На пароувлажнение 1000 шт. тратится около 100 кг пара с давлением 0,5 атм. В кирпичном производстве также используют песок, шамот или гидратованную глину. Гидратованную глину получают в оборотных печах, нагревая ее до 600° С. Выгорающие примеси- это тырса, сгар, шлаки.

Формирование кирпича осуществляется на ленточных прессах при прессовом давлении 2- 5 кг\см . Масса загружается в приемную лейку пресса. В цилиндре продолжается обработка массы. В головке и мундштуке масса уплотняется. Мундштук имеет форму срезаной пирамиды. В размере исходного отверстия мундштука учитывается усадка сырца при сушке и выжиге. Производительность ленточного пресса составляет 4- 5 тыс. штук кирпича в час. Для улучшения формовальных свойств массы из нее изымают воздух, то есть поддают вакуумированию, что обеспечивает более стойкое связывание между собой глиняных частиц. После этого в массе остается около 1 % воздуха. Производительность вакуумных ленточных пресов- от 5 до 10 тыс. штук кирпичей в час и больше. Исходя из ленточного пресса, глиняный брус разрезается на отдельные кирпичи с помощью полуавтоматических или автоматических резательных станков. Потом происходит процесс сушки. В этом процессе полученная вода превращается из жидкостного состояния в парообразное и идет в окружающую среду.

Естественная сушка изделий на воздухе, который происходит за счет тепловой энергии солнца, дешевле, но искусственное за счет тепла, специально полученного в соответствующих установках, более эффективно.

**Недостатки:** используется очень много воды, которая попадает в воздух вместе с вредными газами, паром.

### **Черепица.**

Для изготовления черепицы используют глины, которые отвечают таким



требованиям: отсутствие включений гальки и известняка размером свыше 0,5 мм, достаточная пластичность массы, хорошая вязкость. Разделяется на штампованную, пазовую ленточную, простую ленточную и гребенную. Технологическая схема производства черепицы (а также дренажных труб) аналогичная производству глиняного кирпича методом пластичного формирования. Глину пропускают через ленточный пресс, брус, что выходит из него, разрезается на валки. Последние выдерживаются 3-5 суток в специальных камерах и потом идут к формированию.

Пазовая штампованная черепица прессуется на револьверном прессе, его производительность 600- 700 шт\час. Штампы, которые формируют нижнюю поверхность черепицы, закрепленные на барабане с горизонтальной осью. При его обороте на 1\5 часть круга и опускании штемпеля, на котором закреплено верхний штамп, прессуется черепица - сырьё. Потом ее заключают на рамки и подают цепным транспортером на сушку. Пазовая штампованная черепица прессуется в чугунных, стальных и гипсовых формах.

Ленточная плоская и гребенная черепица формируются на ленточном вакуум-прессе.

Сушка черепицы осуществляется в камерных и тоннельных сушилках (до 36 часов). Выжигается черепица в кольцевых и тоннельных печах около 48 часов. Основной вид брака черепицы- это недожигание и пережигание, которые получаются соответственно при недостаточной или повышенной температуре выжига.

### **Канализационные трубы.**

ГОСТ 286- 84 определяет керамические канализационные трубы как водонепроницаемые керамические изделия из огнестойких тугоплавких низкоплавных глин, покрытых внешне и внутри глазурью. Трубы имеют круглый разрез, диаметр 125- 600 мм, толщину стенок 18-41 мм.

Канализационные трубы изготавливают из огнестойких и тугоплавких глин, которые спекаются при температуре около 1100- 1180 ° С с большой границей спекания (100- 120° С). Состав шихты для производства труб: 70- 75 % глины и 25-30 % песка. Влажность массы при формировании составляет около 20 %. Формируют трубы на вертикальных винтовых трубных прессах, обычно с вакуум - камерой. Применение вакуум- прессов допускает использование массы с влажностью 17- 18%. Изделия изготавливаются из массы повышенной плотности и механической прочности, что позволяет осуществлять ее нарезку и оправку непосредственно возле пресса. Часовая производительность пресса колеблется от 12 труб (Ж= 10 см) до 60 труб (Ж= 30 см). Потом трубы подаются на сушку с влажностью 16-17 %, а выходят оттуда с влажностью 4- 5 %. Длительность сушки 24- 40 часов (в зависимости от диаметра трубы). Температура теплоносителя достигает 200° С.

Канализационные трубы глазуруют на устройстве для механизированной глазуровки. Используется глазурь, изготовленная на основе легкоплавких железосодержащих глин (расходы глазури около 3 % от веса трубы). Глазурь

на канализационных трубах должна быть водонепроницаемой. Труба и раструб на 1 м длины должны выдерживать внешнюю нагрузку 2000- 3000 кг; трубы должны выдерживать гидравлическое давление не менее 2 атм. Кислотостойкость труб- не ниже 90 %; их водопоглощение для 1-го сорта не более 9 %, для 2- го сорта не более 11 %.

#### **Плитки для полов.**

Для производства белых плиток используют дружковские глины, для желтых-николаевские, для красных - никифоровские. При производстве черных, серых, голубых и других плиток к глине добавляют красители: для черного цвета - двуокись титана, окись железа, окись марганца; для зеленого - окись хрома и др. На изготовление 1 м плитки размером 100x100x10 мм., нужно около 37 кг сырьевых материалов.

Плитка для полов производится методом сухого прессования, подготовка массы ведется сухим и мокрым способами. При использовании природноокрашенных глин подготовка массы выполняется сухим способом: глина дробится на валках, сушится в сушильном барабане, поддается помолу в дезинтеграторе и рассеивания на ситах. Применяется совмещенная сушка и помол глины.

При подготовке массы мокрым способом глина измельчается в дробилке и потом распускается в воде бассейна, оборудованного пропеллерной мешалкой, потом в мешалку подается тонкоизмельченный шпат и кварцевый песок. Из мешалки шликер перекачивают насосом в фильтр - пресс. Полученная масса пропускается через коржерезку и подается на сушку в сушильные барабаны или в пневматические сушилки. Влажность высушенной массы составляет 6- 7 %. После сушки масса подается на бегуны и обрабатывается так же, как при сухом способе. Потом плитки прессуются из порошка с влажностью 6- 12 %. На гидравлических поршневых прессах прессование проходит в два приема: сначала при давлении 40- 50 атм, потом 300- 350 атм. На мощных прессах одновременно прессуется до 12 плиток размером 100x100 мм. Производительность четырёхколонного преса – 30 м<sup>2</sup> в час. Плитки высушиваются до остаточной влажности. Сушка происходит в тоннельных противоточных и в конвейерной сушилке. Длительность сушки в тоннельных сушилке не более 20 часов, в конвейерных не более 8 часов. Температура теплоносителя около 150° С. Плотность загрузки сушилок - где-то 2м<sup>2</sup> плиток 1м<sup>3</sup> полезного объема. Выжиг плиток выполняется в основном в тоннельных и газокамерных печах. Плитки выжигаются в капсуло - керамических огнестойких коробках разных размеров (вмещает до 50 плиток). Дно капсулы посыпают песком, потом ставят на ребро 2 плитки, сложивая их лицевыми сторонами; следующая пара плиток отделяется от предыдущей шамотной прокладкой. Температура выжига плиток 1150- 1250° С, цветные плитки выжигаются при более низкой температуре. После разгрузки капсул плитки вынимаются из них и сортируются.

#### **Безглинковые цементы.**

Доменные шлаки находят широкое использование при изготовлении шлакового цемента. Использование доменных шлаков имеет большое народнохозяйственное значение, потому что ежегодно они получают в больших количествах - около 0,6- 0,7 т на 1 тонну чугуна. Установлены способы наиболее эффективного использования доменных шлаков при получении из них шлакового безклинкерного цемента. Нужно осуществлять тонкий помол гранулированного доменного шлака, что повышает прочность доменного безклинкерного цемента и его химическую активность. Наиболее эффективными активизаторами отвердевания признано: ангидрит, выжженный при 750° С, и доломит, выжженный при 1000-1100° С. оптимальный состав шлакового цемента: 90 % шлака, 5 % ангидрита, 5 % доломита. Его используют при строительстве подземных и наземных бетонных и железобетонных сооружений и для строительных растворов. Существуют такие цемент как: сульфатно - шлаковые, гипсо - шлаковые, шлаковый клинкерный и безклинкерный, известково - шлаковый, известковый, известково - зольный, известково - огажный, известково - пуцолановый и другие. Между ними есть небольшая разница в производстве и использовании.

**Недостатки:** при производстве цемента слишком большая запыленность производственных помещений и прилегающей территории.

**Бетонные плиты (столбики, стояки и другое).**

В специальных цехах изготавливают бетонные изделия. Сначала сваривают арматуру в соответствии с формовальными ящиками. Потом эту арматуру кладут в формовальный ящик и заливают раствором. Спустя сутки, то есть когда застынет раствор, получают уже готовую плиту перекрытия или другие изделия.

Преимущества этого метода в том, что много остатков можно добавить в раствор (лишние маленькие куски арматуры, битый кирпич).

## **1.2. Свойства строительных материалов, обуславливающих загрязнение окружающей среды.**

Строительные материалы в процессе их обработки, транспортирования, строительства и эксплуатации выделяют в окружающую их среду определённые загрязнения. Выделение этих загрязнений обусловлено различными свойствами строительных материалов, одними из которых являются химические свойства[13].

Химические свойства характеризуют способность материала к химическим превращениям при взаимодействии с веществами, которые контактируют с ним. К ним принадлежат: растворимость, кислотостойкость, щелочестойкость, токсичность и другие.

**Кислотостойкость** - это способность материала (изделия) оказывать сопротивление действию растворов кислот или их смесей в границах, установленных нормативными документами. Она оценивается потерей массы испытанных образцов, выдержанных в растворе кислоты определенной

концентрации. Время выдержки, концентрация кислот и другие параметры испытания регламентируются соответствующими нормативными документами. Например, кислотостойкость канализационных керамических труб составляет не меньше 92% (то есть потери по массе - до 8%), а шлакоситалов - до 99%.

**Щелочестойкость** - это способность материала (изделия) оказывать сопротивление действия щелочей в границах, установленных нормативными документами. Методика определения щелочестойкости такая же, как и кислотостойкости. Если в составе материала преобладают основные окислы, то он обычно является щелочестойким, но вступает во взаимодействие с кислотами и может разрушаться. Если строительный материал имеет значительное содержание диоксида кремния (кремнезема), то он является кислотостойким, но реагирует с основными окислами.

Чтобы дать условную оценку стойкости каменных материалов из горных пород в кислых и щелочных средах, применяют модуль основы  $M_0$ :

$$M_0 = \frac{CaO + MgO + Na_2O (K_2O)}{SiO_2 + Al_2O_3}.$$

Токсичность - это способность материала в процессе изготовления и особенно эксплуатации при определенных условиях выделять вредные для здоровья человека (ядовитые) вещества. Некоторые строительные материалы не позволяют использовать, например, в жилых помещениях, детских заведениях и тому подобное. В частности, это касается материалов, изготовленных на основе синтетических смол (полимеров), а также пигментов, которые содержат соединения свинца, меди, мышьяка, цинка.

Растворимость - способность материала растворяться в воде, масле, бензине, скипидаре и других веществах - растворителях. Растворимость может играть и позитивную, и негативную роль. Например, если облицовочный синтетический материал в процессе эксплуатации разрушается под действием растворителя, растворимость является вредной.

Коррозийная стойкость - это способность материала не разрушаться под воздействием

веществ, с которыми он сталкивается в процессе эксплуатации. Коррозионному разрушению поддаются не только металлы, но и каменные материалы, бетоны, пластмассы, древесина. Коррозия обусловлена химическими и электрохимическими процессами, которые происходят в твердых телах при взаимодействии с окружающей средой.

Основными агрессивными агентами, которые вызывают коррозию строительных материалов, являются: пресная и минерализованная воды, растворенные в дождевой воде газы ( $SO_2$ ,  $SO_3$ ,  $NO_2$ ), которые образуются в результате работы предприятий и автотранспорта. На промышленных предприятиях коррозию строительных материалов часто вызывают более сильные агенты: растворы щелочей и кислот, расплавленные материалы и горячие газы.

Особенным видом коррозии является биокоррозия - разрушение материала под действием живых организмов (грибов, микробов, насекомых).

Биокоррозия - это не только гниение органических материалов (древесины,

битума), и разрушение естественного камня, бетона и металла продуктами жизнедеятельности микроорганизмов. Коррозия строительных материалов опасна не столько химическими изменениями в материале, сколько связанными с ними изменениями физико-механических характеристик конструкций, изготовленных из этих материалов.

### **1.3. Общая характеристика влияния строительных предприятий на окружающую среду.**

Повышенное выделение пыли наблюдается при производстве бетонной смеси в смесительном отделении - до пяти предельно допустимых концентраций (ПДК), в сверхбункерном помещении - 1,5- 2, в отделении дозирования рабочей смеси 3- 4 ПДК.

Для арматурных цехов, а также цехов по производству нестандартных металлических конструкций характерны пыль металлов и их окислы, сварочные аэрозоли двуокиси углерода и марганца. При контактной сварке санитарные нормы окиси марганца повышаются до 1,3, а сварочных аэрозолей до 1,1 - 1,3 раза. При ручной электрической сварке наблюдается выделение окиси азота в пределах норм; двуокиси углерода и марганца превышают ПДК соответственно в 1,5 - 2 и 1,3-3 раза, сварочные аэрозоли в 3 - 4 раза.

При технологическом процессе производства силикатного кирпича повышенное выделение пыли наблюдается при загрузке известняка и песка кранами, дозирование их на ленточном конвейере, транспортировке, сортировке, грохочении, в смесителях при передвижении. На рабочих местах в помещениях подготовки смеси, запыленность превышает санитарные нормы от 2 до 20, в формовочном цехе - от 2 до 5 раз.

При производстве керамики и глиняного кирпича пылевыведение превышает ПДК: на складах глины - 1,5- 2,5, песка 5-7, смесеприготовительном цехе - 12 - 15, а в отделении помола шамота запыленность достигает 30 - 32 ПДК. На участке загрузки и разгрузки запылённость в 2 - 3 раза превышает допустимые концентрации.

Основное пылевыведение при производстве минеральной ваты на участке подготовки насадки, местами превышает санитарные нормы в 40 - 70 раз, на участке печей - в 10-20 раз. Концентрация фенола, аммиака, формальдегида, превышают санитарные нормы приблизительно одинаково - в 1,5-2 раза.

Производство цемента, известняка, доломита, инертных материалов сопровождается на отдельных участках, особенно сильным пылевыведением, что превышает ПДК в 5 - 10 раз, а в некоторых случаях - до нескольких десятков и даже сотен раз.

### ***Влияние на человека.***

Среди производственных ядов достаточно распространенными являются металлы. До последнего времени используют преимущественно тяжелые металлы: свинец, ртуть, цинк, марганец, хром, никель, кадмий и другие. С мощным развитием техники началось внедрение в промышленность

различных металлов и сплавов: легких металлов ( бериллий, литий ), тугоплавких (ванадий, титан), рассеянных (таллий, селен), редкоземельных (цезий, иттрий).

Эти металлы используются только для получения легированной стали, твердых, сверхтвердых, жаростойких, кислотостойких и других высококачественных специальных сплавов. В производственных условиях металлы встречаются в разных соединениях. Жидкие металлы действуют на организм в виде аэрозолей, дезинтеграций или конденсаций. Влажные металлы являются общепротивоплазматическими ядами, которые имеют в то же время выборочное действие.

Характерной особенностью тяжелых металлов после попадания в организм, является их неравномерное распределение между клетками и тканями. Выделяясь через мочевые пути, слизистые оболочки пищеварительного канала и разные железы, некоторые металлы вызывают у них патологические изменения ( например, свинец и его соединения являются протоплазматическими ядами, которые действуют на все органы и системы организма и определяют особенно тяжелые изменения в нервной системе).

Рассмотрим влияние некоторых строительных материалов на самочувствие человека. Один из самых распространенных химических канцерогенов в окружающей среде ароматический углеводород бензапирен, который образуется в результате высокотемпературных процессов термической обработки органического сырья, неполного сгорания. Так, повышение концентрации бензапирена в воздухе на каждый нанограмм в 1 куб м., повышает заболевание на рак на 0,4 на 100 тыс. населения (профессиональный рак отмечается в 6 % мужчин и в 2 % женщин).

**Формальдегид.** Было установлено, что формальдегиды выделяют такие материалы:

деревостружечные плиты, материалы для покрытия типа красок или ковровых изделий, текстильные товары, пеноизоляционные материалы. Основными объектами острого влияния формальдегида, есть конъюнктивит глаз и дыхательных путей. Приблизительно в тех же концентрациях отмечено повреждающее действие запаха этого вещества.

**Асбест**, который имеет изоляционные и противопожарные свойства, используют в различной строительной продукции в виде термоизоляционного материала, акустических покрытий, которые напыляются на металлические сетки, огнетушителей в виде асбоцемента, виниласбестовых покрытий для пола и др. В процессе его использования может происходить непрерывный выброс асбестовых волокон в воздух помещений. Асбест вызывает заболевания – от асбеста до бронхогенного рака лёгких, особенно у osób, которые курят. Асбест – очень канцерогенный материал, поэтому ПДК – 2 волок / см<sup>3</sup> воздуха.

**Радон.** Отмечают повышение частоты заболеваний на бронхогенный рак лёгких, вследствие отложения частичек радона. Он также может поступать в

костный мозг.

«В период строительного бума из-за отсутствия нормативных требований об обязательном радиологическом контроле в город Днепропетровск [9] было завезено значительное количество строительных конструкций, облицовочного камня и щебня (в основном из Токовского карьера) с повышенной радиоактивностью. В результате радиационный фон в городе повысился до 24 мкрн/час, и он уже считается нормативным (природный 7-15 мкрн/час). В целом по городу территория с благоприятной экологической ситуацией составляет всего 4%, с удовлетворительной – 26,6%, с критической – 29,4% и кризисной – 6%»

**Оксид углерода (СО)** – самая распространенная и наиболее значительная примесь атмосферы, называемая в быту угарным газом. Содержание СО [18] в естественных условиях от 0,01 до 0,2 мг/м<sup>3</sup>. Основная масса выбросов СО образуется в процессе сжигания органического топлива, прежде всего в двигателях внутреннего сгорания. Содержание СО в воздухе крупных городов колеблется в пределах 1- 250 мг/м<sup>3</sup>, при среднем значении 20 мг/м<sup>3</sup>. Наиболее высокая концентрация СО наблюдается на улицах и площадях городов с интенсивным движением, особенно у перекрестков. Высокая концентрация СО в воздухе приводит к физиологическим изменениям в организме человека, а концентрация более 750 мг/м<sup>3</sup> - к смерти. СО – исключительно агрессивный газ, легко соединяющийся с гемоглобином крови, образуя карбоксигемоглобин.

#### **Действие угарного газа на организм человека**

Содержание карбоксигемоглобина, %	Симптомы
0,4 – 2	1. Ухудшение остроты зрения и способности оценивать длительность интервалов времени
2 – 5	2. Нарушение психомоторных функций головного мозга
5 – 10	3. Изменение деятельности сердца и лёгких
10 – 80	4. Головные боли, сонливость, спазмы, нарушения дыхания, смертельные исходы

Степень воздействия СО на организм человека зависит также от длительности воздействия (экспозиции) и вида деятельности человека. Например, при содержании СО в воздухе 10 - 50 мг/м<sup>3</sup>, которое наблюдается на перекрестках улиц больших городов, при экспозиции ~ 60 мин отмечаются нарушения, приведенные в п.1, а при экспозиции от 12 часов до 6 недель - в п.2. При тяжелой физической работе отравление наступает в 2-3 раза быстрее. Образование карбоксигемоглобина - процесс обратимый, через 3 - 4 ч содержание его в крови уменьшается в 2 раза. Время пребывания СО в атмосфере составляет 2 - 4 месяца. **Диоксид серы (SO<sub>2</sub>)** - бесцветный газ с острым запахом. На его долю приходится до 95% от общего объема сернистых соединений, поступающих в атмосферу от антропогенных источников. До 70% выбросов SO<sub>2</sub> образуется при сжигании угля, мазута — порядка 15%. При концентрации диоксида серы 20 - 30 мг/м<sup>3</sup> раздражается слизистая оболочка рта и глаз, во рту возникает неприятный привкус. Весьма чувствительны к SO<sub>2</sub> хвойные леса. При концентрации SO<sub>2</sub> в воздухе 0,23 - 0,32 мг/м<sup>3</sup> в результате нарушения фотосинтеза происходит усыхание хвои в течение 2 - 3 лет. Аналогичные изменения у лиственных деревьев происходят при концентрациях SO<sub>2</sub> 0,5 - 1 мг/м<sup>3</sup>.

Основной техногенный источник выбросов **углеводородов (C<sub>m</sub>H<sub>n</sub> - пары бензина, метан, пентан, гексан) - автотранспорт**. Его удельный вес составляет более 50% от общего объема выбросов. При неполном сгорании топлива происходит также выброс циклических углеводородов, обладающих канцерогенными свойствами. Особенно много канцерогенных веществ содержится в саже, выбрасываемой дизельными двигателями. Из углеводородов в атмосферном воздухе наиболее часто встречается метан, что является; следствием его низкой реакционной способности. Углеводороды обладают наркотическим действием, вызывают головную боль, головокружение. При вдыхании в течение 8 часов паров бензина с концентрацией более 600 мг/м<sup>3</sup> возникают головные боли, кашель, неприятные ощущения и горле.

*Оксиды азота (NO<sub>x</sub>)* образуются в процессе горения при высокой температуре путем окисления части азота, находящегося в атмосферном воздухе. Под общей формулой NO<sub>x</sub> обычно подразумевают сумму NO и NO<sub>2</sub>. Основные источники выбросов NO<sub>x</sub> : двигатели внутреннего сгорания, топки промышленных котлов, печи.

NO<sub>2</sub> - газ желтого цвета, придающий воздуху в городах коричневатый оттенок. Отравляющее действие NO<sub>x</sub> начинается с легкого кашля. При повышении концентрации кашель усиливается, начинается головная боль, возникает рвота. При контакте NO<sub>x</sub> с водяным паром, поверхностью слизистой оболочки образуются кислоты HNO<sub>3</sub> и HNO<sub>2</sub>, что может привести к отеку легких. Продолжительность нахождения NO<sub>2</sub> в атмосфере - около 3 суток.

Размер *пылинок* колеблется от сотых долей до нескольких десятков мкм. Средний размер частиц пыли в атмосферном воздухе — 7 - 8 мкм. Пыль оказывает вредное воздействие на человека, растительный и животный мир, поглощает солнечную радиацию и тем самым влияет на термический режим атмосферы и земной поверхности. Частицы пыли служат ядрами конденса-



ции при образовании облаков и туманов. Основные источники образования пыли: производство строительных материалов, черная и цветная металлургия (оксиды железа, частицы Al, Cu, Zn), автотранспорт, пылящие и тлеющие места складирования бытовых и производственных отходов. Основная масса пыли вымывается из атмосферы осадками.

Выбросы, содержащие примеси в виде частиц пыли, дыма, тумана или пара, **называются аэрозолями**. Общее число разновидностей загрязняющих атмосферу аэрозолей составляет несколько сотен.

Для количественной оценки содержания примеси в атмосфере используется понятие **концентрации** - количества вещества, содержащегося в единице объема воздуха, приведенного к нормальным условиям. Качество атмосферного воздуха - это совокупность его свойств, определяющая степень воздействия физических, химических и биологических факторов на людей, растительный и животный мир, а также на материалы, конструкции и окружающую среду в целом. Качество атмосферного воздуха может считаться удовлетворительным, если содержание примесей в нем не превышает предельно допустимых концентраций (ПДК). ПДК — это максимальная концентрация примеси в атмосфере, отнесенная к определенному времени осреднения, которая при периодическом воздействии или на протяжении всей жизни человека не оказывает на него и на окружающую среду в целом прямого или косвенного воздействия, включая отдаленные последствия. Под *прямым воздействием* понимается нанесение организму человека временного раздражающего действия, вызывающего ощущение запаха, кашель, головную боль. При накоплении в организме вредных веществ выше определенной дозы могут возникать патологические изменения отдельных органов или организмы в целом. Под *косвенным воздействием* понимаются такие изменения в окружающей среде, которые не оказывая вредного влияния на живые организмы, ухудшают обычные условия обитания: поражаются зеленые насаждения, увеличивается число туманных дней и т.д.

Основным критерием установления нормативов ПДК для оценки качества атмосферного воздуха является воздействие содержащихся в воздухе загрязняющих примесей на организм человека.

Для оценки качества атмосферного воздуха установлены две категории ПДК: максимально разовая (ПДК<sub>мр</sub>) и среднесуточная (ПДК<sub>сс</sub>).

ПДК<sub>мр</sub> - основная характеристика опасности вредного вещества. Установлена для предупреждения рефлекторных реакций у человека (ощущение запаха, световой чувствительности, биоэлектрической активности головного мозга) при кратковременном воздействии атмосферных примесей. По этому нормативу оцениваются вещества, обладающие запахом или воздействующие на другие органы чувств человека.

ПДК<sub>сс</sub> - установлена для предупреждения общетоксического, канцерогенного, мутагенного и другого влияния вещества на организм человека. Вещества, оцениваемые по этому нормативу, обладают способностью временно -или постоянно накапливаться в организме человека.

К началу 1999 г. На Украине по ПДК оценивалось около 1000 веществ, которые могут попадать в атмосферный воздух. ПДК наиболее распространенных загрязняющих веществ приведены в таблице

ПДК наиболее распространённых веществ

Наименование загрязняющего	ПДК <sub>м.р.</sub> , мг/м <sup>3</sup>	ПДК <sub>с.с.</sub> , мг/м <sup>3</sup>
Азота диоксид	0,085	0,04
Азота оксид	0,4	0,06
Ангидрид серный	0,5	0,05
Аммиак	0,2	0,04
Бенз(а)пирен	—	0,1 мкг/100м <sup>3</sup>
Взвешенные вещества	0,5	0,15
Ртуть металлическая	—	0,0003
Свинец и его соединения	—	0,0003
Углерода оксид	5	3
Угольная зола ТЭС	0,05	0,02
Формальдегид	0,35	0,003
Хлор	0,1	0,03

Первый ежегодный доклад Уполномоченного Верховной Рады Украины по правам человека «Состояние соблюдения и защиты прав и свобод человека в Украине», основные положения которого были провозглашены в парламенте 28 ноября 2000 года. В этом докладе, в частности, отмечено, что всю территорию Украины по уровню загрязнения можно условно разделить на 6 зон:

- 1- относительно чистые территории  $\approx 7\%$
- 2- условно чистые  $\approx 8\%$
- 3- слабозагрязненные  $\approx 15\%$
- 4- загрязненные  $\approx 40\%$
- 5- очень загрязненные  $\approx 30\%$
- 6- экологические катастрофы – почти 1% всей территории Украины.

Таким образом, можно считать, что около 70% всей территории Украины являются экологически опасными зонами.

### **Сточные воды.**

Любая техногенная деятельность, в том числе строительная индустрия, неизбежно связана с очисткой производственных и поверхностных сточных вод. Для действующих строительных предприятий характерны следующие проблемы:

- отсутствие свободных площадей для строительства очистных сооружений;
- невозможность либо затрудненность перекладки канализационных сетей;
- насыщенность сточных вод большим количеством разнородных загрязнений и нередко невозможность разделения потоков от разных технологических процессов;
- при наличии очистных сооружений их технологическая и возрастная несостоятельность.

## Глава 2. Влияние цементного завода на окружающую среду и мероприятия, направленные на уменьшение загрязнения.

### 2.1. Общая характеристика цементного завода.

Цемент не является природным материалом. Его изготовление - процесс дорогостоящий и энергоемкий, однако результат стоит того - на выходе получают один из самых популярных строительных материалов, который используется как самостоятельно, так и в качестве составляющего компонента других строительных материалов (например, бетона и железобетона). Цементные заводы, как правило, находятся сразу же на месте добычи сырьевых материалов для производства цемента.

**Производство цемента включает две ступени:** первая - получение клинкера, вторая - доведение клинкера до порошкообразного состояния с добавлением к нему гипса или других добавок. Первый этап самый дорогостоящий, именно на него приходится 70% себестоимости цемента. А происходит это следующим образом: первая стадия - это добыча сырьевых материалов. Разработка известняковых месторождений ведется обычно сносом, т. е. часть горы "сносят вниз", открывая тем самым слой желтовато-зеленого известняка, который используется для производства цемента. Этот слой находится, как правило, на глубине до 10 м (до этой глубины он встречается четыре раза), и по толщине достигает 0,7 м. Затем этот материал отправляется по транспортеру на *измельчение* до кусков равных 10 см в диаметре. После этого известняк подсушивается, и идет процесс *помол* и смешивания его с другими компонентами. Далее эта сырьевая смесь подвергается *обжигу*. Так получают клинкер. Вторая стадия тоже состоит из нескольких этапов. Это: *дробление* клинкера, *сушка* минеральных добавок, *дробление* гипсового камня, *помол* клинкера совместно с гипсом и активными минеральными добавками. Однако надо учитывать, что сырьевой материал не бывает всегда одинаковым, да и физико-технические характеристики (такие как прочность, влажность и т. д.) у сырья различные. Поэтому для каждого вида сырья был разработан свой способ производства. К тому же это помогает обеспечить хороший однородный помол и полное перемешивание компонентов. В цементной промышленности используют три способа производства, в основе которых лежат различные технологические приемы подготовки сырьевого материала: мокрый, сухой и комбинированный.

**Мокрый способ производства** используют при изготовлении цемента из мела (карбонатный компонент), глины (силикатный компонент) и железосодержащих добавок (конверторный шлак, железистый продукт, пиритные огарки). Влажность глины при этом не должна превышать 20%, а влажность мела - 29%. Мокрым этот способ назван потому, что измельчение сырьевой смеси производится в водной среде, на выходе получается шихта в виде водной суспензии - шлама влажностью 30 - 50%. Далее шлак поступает в *печь для обжига*, диаметр которой достигает 7 м, а длина - 200 м

и более. При обжиге из сырья выделяются углекислоты. После этого шарики-клинкеры, которые образуются на выходе из печи, растирают в тонкий порошок, который и является цементом.

**Сухой способ** заключается в том, что сырьевые материалы перед помолом или в его процессе высушиваются. И сырьевая шихта выходит в виде тонкоизмельчённого сухого порошка. При сухом способе используются сухие компоненты. Вода в этом случае расходуется только на аспирацию. Сухой способ экономнее, но сильно усложняет систему аспирации. В табл.3 приводится исходное количество воды, которое затрачивается при использовании того или иного способа подготовки сырья.

**Комбинированный способ**, как уже следует из названия, предполагает использование и сухого и мокрого способа. Комбинированный способ имеет две разновидности. Первая предполагает, что сырьевую смесь готовят по мокрому способу в виде шлама, потом её обезвоживают на фильтрах до влажности 16 - 18% и отправляют в *печи для обжига* в виде полусухой массы. Второй вариант приготовления является прямо противоположным первому: сначала используют сухой способ для изготовления сырьевой смеси, а затем, добавляя 10 -14% воды, гранулируют, размер гранул составляет 10-15 мм и подают на обжиг.

Для каждого способа используется определенный вид оборудования и строго определенная последовательность операций.

Источниками загрязнения воздуха являются:

- дробилки и измельчители;
- места разгрузки грузовиков;
- силосы;
- мельницы грубого помола и сушилки;
- цементный сепаратор;
- участок пакетирования;
- установки охлаждения клинкера;
- охладитель клинкера;
- обжиговая печь;

В состав клинкера входит: оксид кальция ( $\text{CaO}$ ), кремнезём ( $\text{SiO}_2$ ), глинозём ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), оксид железа ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), оксид магния ( $\text{MgO}$ ), оксид титана ( $\text{TiO}_2$ ), оксид фосфора ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ), алит ( $\text{C}_3\text{S}$ ), белит ( $\text{C}_2\text{S}$ ), трёхкальциевый алюминат ( $\text{Ca}_3\text{Al}$ ) и алумоферит ( $\text{C}_4\text{AlFe}$ ). Требуется примерно 1453 кг сырья для производства 1 т. цемента.

Вышеуказанные вещества, которые входят в состав клинкера, в процессе мокрой газоочистки попадают в состав сточных вод.

**Таблица 3. Количество воды, расходуемой в производстве цемента.**

Вид технологической операции	Количество воды, м <sup>3</sup> на 1 тонну цемента			
	Направляемой в оборот	Расходуемой безвозвратно	Направляемой в оборот	Расходуемой безвозвратно
	При подготовке сырья способом			
	мокрым		сухим	
Охлаждение оборудования	10,4	—	12,2	—
Очистка аспирационного воздуха и другие технологические операции	—	1,8	—	0,3

## **2.2 Источники загрязнения вод и очистка сточных вод цементного завода.**

Загрязненных стоков цементное производство практически не имеет. Переливы и аварийные сбросы из системы оборотного водоснабжения направляются в дождевую канализацию завода, Дождевые стоки, загрязнены пылью минерального сырья и цементом.

Стоки целесообразно отстаивать в отстойниках и после этого использовать в системе промышленного водоснабжения завода.

Воду, которая используется для охлаждения оборудования, охлаждают до нужной температуры и снова используют для охлаждения компрессоров, теплообменных аппаратов и др.

В стоках также может содержаться бетон, проволока, полиэтилен и др. промышленные отходы. Для этого необходимо устанавливать решетки. Уловленный материал сортируют, извлекая полезные вещества (металлы), а остальные отходы отправляют на полигон.

Минеральные вещества (МВ) извлеченные из отстойников с тонкослойными блоками, используются как составляющее для производства строительных материалов(рис.1) W – влажность осадков, %

Эффективность работы аппарата вычисляется по формуле [16,17]:

$$\Xi = (K^{\text{до}} - K^{\text{после}} / K^{\text{до}}) \cdot 100\%,$$

где:

$K^{\text{до}}$  – количество загрязняющего вещества до очистки ;

$K^{\text{после}}$  - количество загрязняющего вещества после очистки.

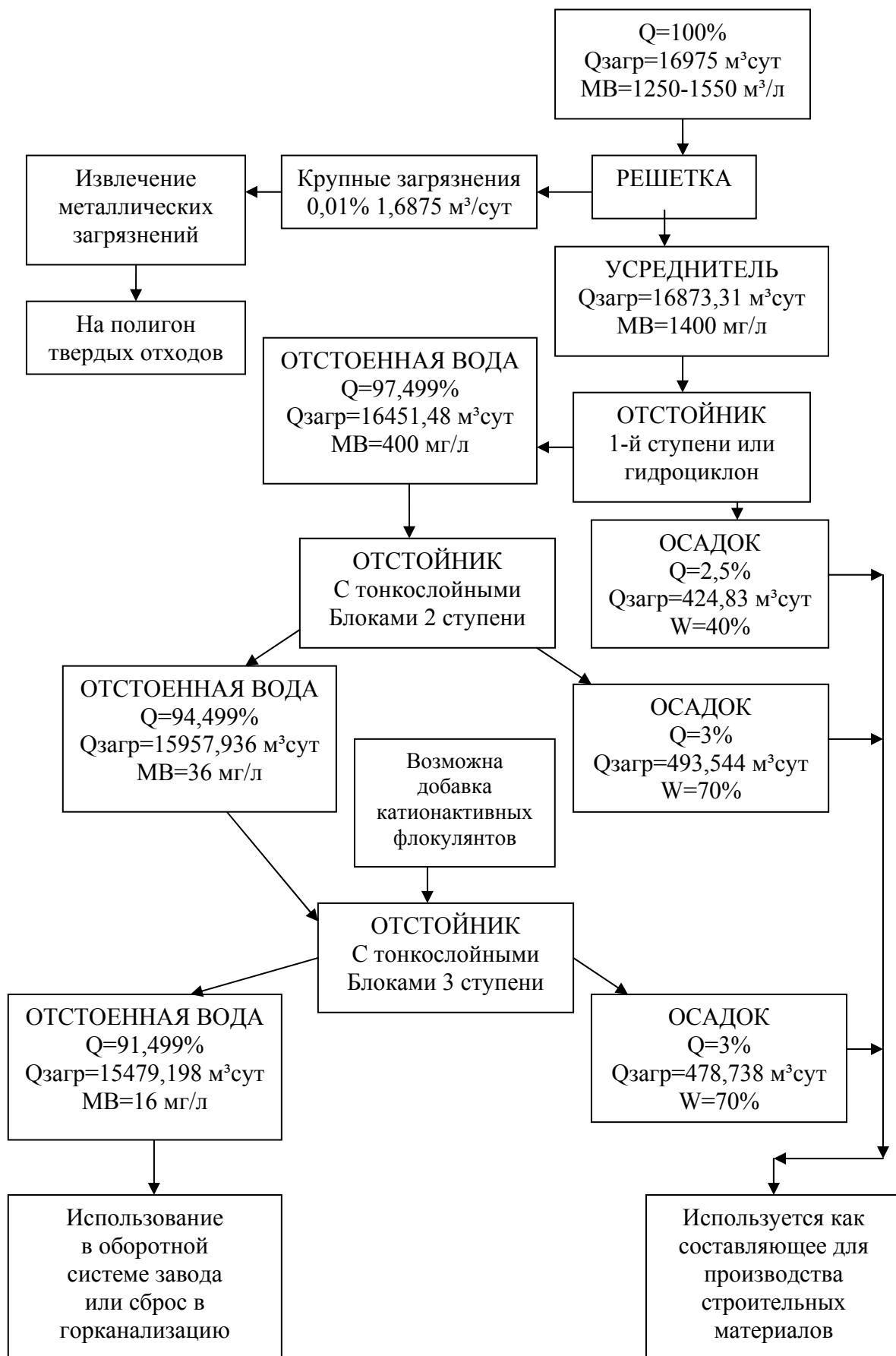
Общее водопотребление цементного завода производительностью 2,4 млн.т. в год составляет: оборотной воды 80 – 100 тыс. м<sup>3</sup>/сут; свежей технической

(расходуемой безвозвратно) при мокром способе 8 – 11 тыс. м<sup>3</sup>/сут, при сухом способе 1 – 3 м<sup>3</sup>/сут [15].

Содержание крупных загрязнителей, улавливаемых на решетках, составляет примерно 0,2 – 0,001% от объёма переработанной воды. Нами разработана технологическая схема (рис.1) очистки сточных вод цементного завода, позволяющая использовать очищенные стоки в оборотной системе завода или сбрасывать в горканализацию. При этом количество минеральных загрязнённых веществ

( взвешенных веществ) соответствуют требованиям ”Правил” [14].

**Рис.1. Технологическая схема очистки сточных вод цементного завода.**



### Глава 2.3 Загрязнение и очистка воздуха на цементном заводе.

В процессе производства цемента в атмосферу выбрасывается пыль и продукты сгорания содержащие  $\text{NO}_x$  и  $\text{SO}_2$  в количествах, зависящих от вида используемого топлива и особенностей процесса обжига.

Главными источниками загрязнения цементного производства является: цех обжига и помольный цех подготовки сырья - дробилки и сушильные барабаны глины и известняка. Газы  $\text{NO}_x$  и  $\text{SO}_2$  выбрасываются из сушильных барабанов.

$\text{SO}_2$  -бесцветный газ с острым запахом. При копцевании  $\text{SO}_2$  до 20-30 мг/м<sup>3</sup> раздражается слизистая оболочка рта и глаза. Также  $\text{SO}_2$  обладает наркотическим действием и вызывает головную боль.  $\text{SO}_2$  вызывает конъюнктивиты, бронхиты, пневмонию.

$\text{NO}_x$  газ желтого цвета. Отравление происходит с легкого кашля, затем появляется головная боль и рвота. Вызывает токсикозы, фиброзные бронхиты, воспаление верхних дыхательных путей, разрушение зубной эмали, сердечную недостаточность.

Пыль цемента  $\text{SiO}_2$  вызывает бронхиты, пневмонию. Компоненты пыли  $\text{SiO}_2$  (диоксид кремния) оказывает на организм фибриногенное действие.

Основной физико-химической характеристикой примесей в атмосфере являются концентрации примесей в атмосфере (масса, мг) вещества в единице объема (м<sup>3</sup>) воздуха при нормальных условиях.

ПДК - максимальная концентрация примесей в атмосфере, отнесенная к определенному времени осреднения, которая при периодическом воздействии или на протяжении всей жизни человека не оказывает ни какого влияния на него и на окружающую среду (включая и отдаленные последствия).

В соответствии с требованиями ГОСТ 17.2.3.02-78 для каждого проектируемого и действующего предприятия устанавливается предельно допустимый выброс (ПДВ) вредных веществ в атмосферу при условии, что выбросы от данного источника в совокупности с другими источниками (с учетом перспективы их развития) не создают приземную концентрацию, превышающую ПДК.

Большинство процессов переработки минерального сырья (в том числе и производство цемента), сортировка его по размерам сопровождаются выбросом аэрозолей в атмосферу, если эти процессы не будут достаточно герметизированы и снабжены улавливающими устройствами.

Рукавные фильтры широко используются для улавливания аэрозолей при сортировке, измельчении цемента и его погрузке. Когда операции достаточно герметизированы, система фильтров может уменьшить выброс более чем на 99%. Для уменьшения выбросов в атмосферу от отвалов и не мощенных дорог успешно применяют распыление воды со смачивающими веществами (смачиватель ДБ, поверхностно-активные вещества – ОП-10 и



др.). Некоторые химические смачивающие вещества могут оказаться агрессивными по отношению к цементу; их следует использовать с осторожностью.

Подавление выбросов аэрозолей из обжиговой печи осложнено большим объемом загрязненного горячего газа. Для улавливания обычно используют тканевые фильтры или электрофильтры, предваряемые циклонами. Были сконструированы специальные устройства для уменьшения выбросов и содержания влаги в отходящих газах от обжиговой печи, а также наличия в этих газах тяжелых частиц. В зависимости от спецификации производимого цемента и щелочности собранной пыли часть этой пыли может быть возвращена в поток питания печи. Для эффективной работы системы подавления выбросов, отходящие газы должны охлаждаться до температуры 589 К° и ниже путем распыления воды.

Первичные выбросы, возникающие при производстве цемента, - это аэрозоли, которые содержат продукты сгорания топлива, используемого при разогреве печи и операциях сушки, включая оксиды азота и серы. При низком уровне содержания кислорода в печи выброс сернистых соединений, таких как  $\text{H}_2\text{S}$ , или органических соединений серы незначителен.

Выброс цементной пыли на заводах по производству сухого цемента происходит из-за неплотностей в конвейерной системе и из отверстий бункеров. Величина уноса пыли изменяется в широких пределах на разных заводах в зависимости от герметичности конвейеров, бункеров и операций погрузки. Средняя величина уноса пыли составляет примерно 0,045 кг/т производимого цемента.

При мокром способе производства на каждую тонну обжигаемого клинкера из вращающихся печей выносятся с запыленными газами 5,3 - 7,3 т пыли с температурой 140 - 400 °С, содержащих (даже при хороших внутривспыльных пылеподавляющих устройствах - гирляндных цепных завесах) от 80 до 250 кг полуобожженной сырьевой шихты в виде дисперсной пыли.

При сухом способе производства количество сухих запыленных газов, выносимых из современных печей, на 25 - 45 % меньше, однако температура их достигает 350 - 400°С, а масса тонкодисперсной пыли составляет 50 - 120 кг. на тонну клинкера. Кроме того, из колосниковых холодильников клинкера, устанавливаемых у всех мощных современных печей, выбрасывается на каждую тонну клинкера 1,1 - 1,8 т сухого горячего воздуха (с температурой 150 - 290 °С), содержащего 7 - 10 кг клинкерных частиц. Общее количество запыленного аспирационного воздуха, содержащего в среднем

500 кг пыли на 1 т клинкера из сырьевой и цементной мельницы, составляет примерно 25 % от массы отходящих газов печи мокрого способа.

Пыли цементного производства по своим свойствам разделяются на следующие группы:

1. Пыли, образующиеся при дроблении и транспортировке сырьевых материалов; имеют грубодисперсный состав (около 70 % частиц крупнее 5 мкм), а температуру и влажность — окружающей среды.

2. Пыли сушильных барабанов сырья и добавок; характеризуются повышенным влагосодержанием (температура точки росы 40 - 60 °С) и широким диапазоном колебаний концентрации аэрозоля (15 - 70 г/м<sup>3</sup>).
3. Пыли сырьевых мельниц, характеризующиеся высокой концентрацией (до 500 г/м<sup>3</sup>) и большим количеством частиц тонких фракций (менее 5 мкм до 65 %).
4. Пыли вращающихся печей мокрого способа производства; они имеют высокое влагосодержание (температура точки росы 58 - 75 °С) и высокую температуру, изменяющуюся для различных типоразмеров печей от 170 до 380 °С.
5. Пыли вращающихся печей сухого способа производства (с циклонными или шахтно-циклонными теплообменниками), характеризующиеся тонким дисперсным составом (частицы размером ниже 5 мкм до 75 %), высоким удельным электрическим сопротивлением ( $U_{ЭС} = 1-10^{\circ}$  Ом-м) и низким влагосодержанием (температура точки росы 29—44 °С).
6. Пыли вращающихся печей с конвейерными кальцинаторами, имеющие низкое влагосодержание (температуру точки росы 32—48 °С) и содержащие грубодисперсные частицы (80 % частиц размером свыше 5 мкм).
7. Пыли клинкерных холодильников; они характеризуются низким содержанием влаги (температура точки росы до 30 °С), широким диапазоном колебания температуры.

Твердые загрязнения от цементных заводов и известковых печей по химическому составу большей частью представляют собой смесь карбоната кальция, оксида кальция (извести) и ряда других соединений. Химический состав выбросов в атмосферу примерно соответствует составу сырьевых материалов (т.е. это известняк, известь, сырьевые составляющие цемента, цементный клинкер, шлак, цемент и другие). В таблице 4 приведены среднестатистические химические составы этих материалов

Таблица 4.

Материал	Потери при прокаливании, %	Содержание, %		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>
		CaO	MgO				
Цемент	0,95	63,15	2,74	20,81	5,64	2,46	2,71
Цемент 350	0,63	55,53	5,38	26,45	6,81	2,02	1,77
Клинкер	0,09	66,15	2,01	21,61	4,80	2,87	1,24
Сырье	33,45	43,4	1,26	13,98	3,05	1,85	0,19
Известняк	40,88	51,8	0,76	4,82	0,53	0,34	-
Доменный шлак	0,10	38,15	10,83	40,43	8,46	1,41	-
Прокаленный пирит	-	0,3	0,2	6,6	3,3	87,0	0,8
Железная руда	3,0	0,2	0,2	7,8	4,5	84,0	-

Боксит	17,4	-	-	6,3	58,8	16,1	-
Рыхлый песчаник	13,85	15,86	0,76	62,29	3,05	1,45	0,09

Главные загрязнители: цех обжига и помольный цех подготовки сырья - дробилки и сушильные барабаны глины и известняка. Газы сушильных барабанов - 15-40 г/м пыли, а аспирационный воздух сырьевых мельниц -40-50 г/м<sup>3</sup> пыли. При мокром способе подготовки сырья пыли нет, но резко возрастают энергозатраты. Цех обжига (табл.5) дает пыль в сушильных барабанах угля (газы имеют 30-150 г/м<sup>3</sup>) и цементных печах (газы 10-20 г/м<sup>3</sup>). При этом 10 % угля уносится только из сушильных барабанов и угольных мельниц. В аспирационном воздухе цементных мельниц пыли - до 120 г/м<sup>3</sup>, а унос готового цемента - 6 %. Источник пыли на цементных предприятиях можно разделить на две группы.

**Первая группа**, более значимая, включает те технологические процессы, куда входят вращающиеся и шахтные печи, охладители клинкера сырьевые и цементные мельницы, сушилки шлака.

**Во вторую группу** входят источники, оказывающие вредное воздействие в основном на атмосферу предприятия и его ближайших окрестностей. В нее включены хранилища сухих материалов (клинкера и шлака), а также связанные с ними обработка, транспортировка и складирование указанных материалов. Следует отметить, что серьезные проблемы вызывают такие процессы как транспортировка, сбрасывание, погрузочные бункеры, элеваторы и ленточные конвейеры, хотя выбросы от них малы из-за близости этих источников к земле.

Обследование цементного завода производительностью 400 тыс. тонн цемента в год, работающего по мокрому способу, показало, что применение для очистки выбросов:

- вращающихся печей - пылевых камер;
- цементных мельниц - рукавных фильтров;
- шламосушильных барабанов - скрубберов;
- углосушильных барабанов - электрофильтров

не принесло высокого эффекта. Концентрация пыли в радиусе 2 км от завода значительно превышала ПДК (0,15 мг/м<sup>3</sup>) и в отдельных случаях достигала 20 г/м<sup>3</sup>. Из этого примера видно, что очистка воздуха на цементных заводах представляет большую проблему и нуждается в дальнейших решениях. По нашему мнению, очистка воздуха должна производиться в несколько ступеней и в различных воздухоочистительных аппаратах (рис.2 и 3).

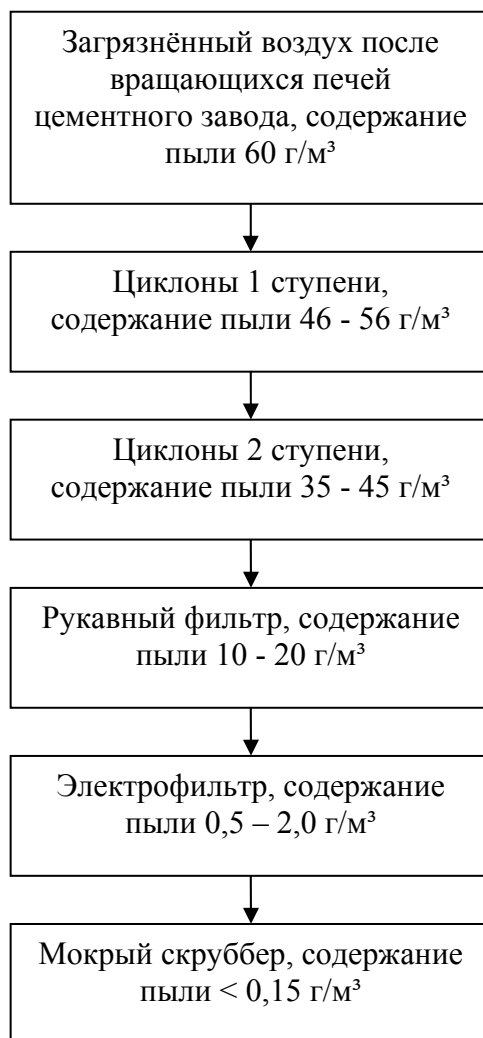
Однако, даже предложенные технологические схемы очистки воздуха не лишены недостатков: большие капитальные эксплуатационные затраты, большие объёмы и занятость площадей предприятия и др.

Таблица 5

Содержание оксидов азота в продуктах згорания для разных типов оборудования			
Топливо	Оборудование	Содержание NO, мг/м <sup>3</sup>	Выбросы с расчета на 1 т топлива, кг
Уголь	Большие промышленные печи	200-1450	1,5-26,0
	Малые бытовые печи	15-50	0,01-0,5
Нефть	Большие промышленные печи	250-500	7,0-14,0
Газ	Промышленные печи	25-200	0,1-0,6
Пропан	Бытовые печи	80-100	0,5-1,0

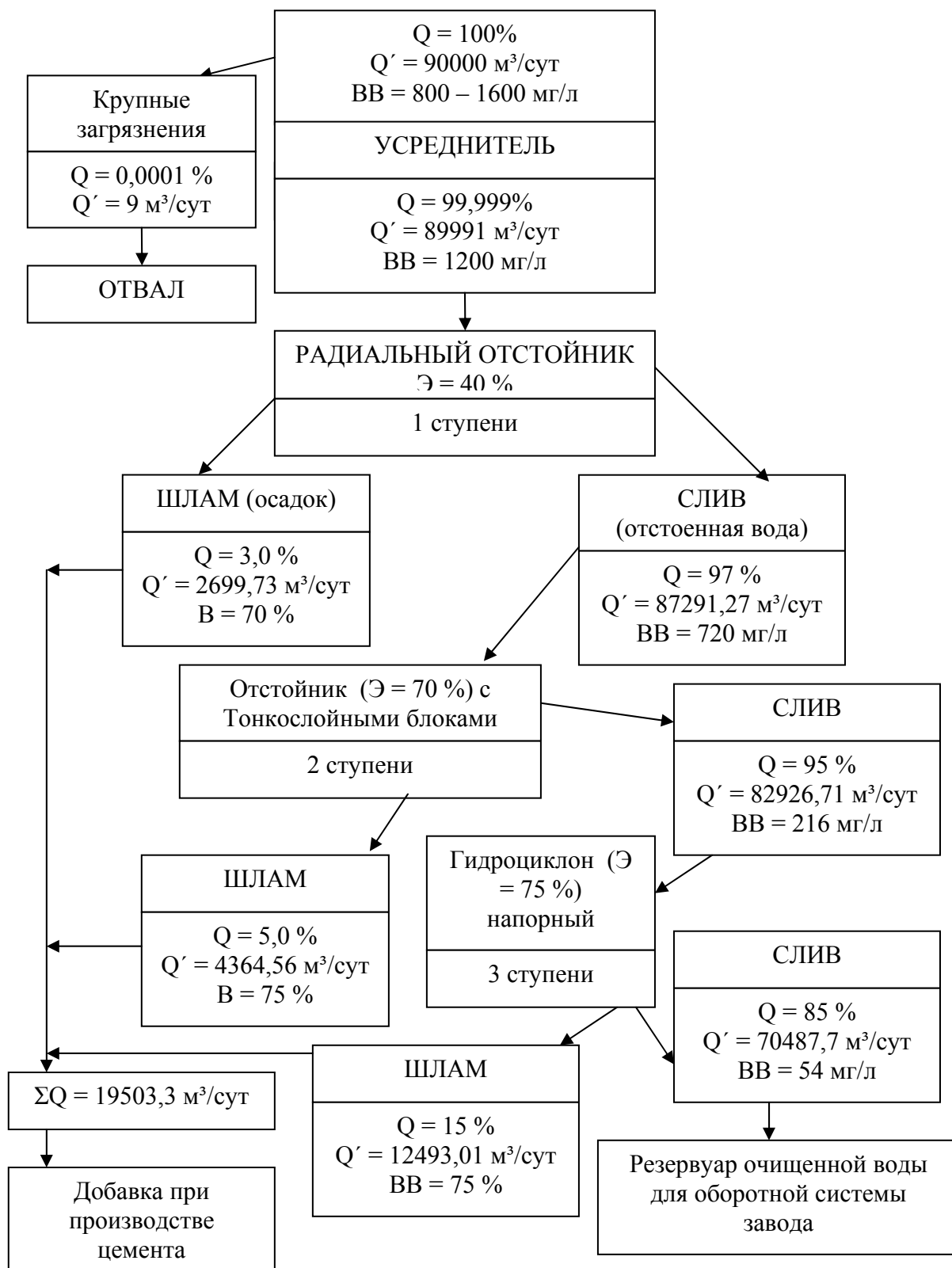
Таблица 6

Время прибывания различных веществ в атмосфере		
Вещество (элемент, соединения и др.)		Среднее время пребывания в атмосфере
Гелий	He	10 <sup>7</sup> лет
Азот	N <sub>2</sub>	10 <sup>6</sup> - 2*10 <sup>7</sup> лет
Кислород	O <sub>2</sub>	5*10 <sup>3</sup> – 10 <sup>4</sup> лет
Диоксид углерода	CO <sub>2</sub>	5 - 10 лет
Водород	H <sub>2</sub>	4 - 8 лет
Метан	CH <sub>4</sub>	4 - 7 лет
Оксид диазота	N <sub>2</sub> O	2,5 - 4 года
Озон	O <sub>3</sub>	0,3 - 2 года
Оксид углерода	CO	0,2 - 0,5 лет
Диоксид азота	NO <sub>2</sub>	8 - 11 сут
Вода	H <sub>2</sub> O	10 сут
Сульфат –ион	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	10 сут
Оксид азота	NO	9 сут
Ион аммония	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	6 сут
Аммиак	NH <sub>3</sub>	5 – 6 сут
Нитрат-ион	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	5 сут
Диоксид серы	SO <sub>2</sub>	2 – 4 сут
Сероводород	H <sub>2</sub> S	0,5 - 4 сут
Органический углерод ( за исключением связанного CH <sub>4</sub> и углерода галогена)		2 сут



**Рис.2 Технологическая схема очистки воздуха после вращающихся печей цементного завода.**

**Рис 3. Технологическая схема очистки сточных вод цементного завода после очистки загрязнённого воздуха (мокрым способом).**



Условные обозначения к схеме:

BB – взвешенные вещества, мг/л;

В – влажность, %

Э – эффект очистки сточных вод, %

## 2.4 Примеры расчётов пылегазоочистного оборудования цементных заводов.

Расчёт циклона\*

### Исходные данные

Подобрать пылеуловитель первой ступени очистки с эффективностью улавливания не ниже 0,6 при следующих исходных данных.

Источник пылегазового выброса - вращающаяся печь обжига цементного клинкера. Уловленный материал в сухом виде возвращается в печь обжига.

Пыль имеет следующий дисперсионный состав:

$\delta_{\text{ц}}$ мкм	.. 4	4-8	8-15	15-25	25-36	36-50	50-70	70-100
R( $\delta$ ), %	.. 22	24	22	14	7	5	3	3

Плотность пыли  $\rho_m = 2800$  кг/м<sup>3</sup>; температура газа  $t_r = 400$  °С; вязкость газа  $\mu = 22,1 \cdot 10^{-6}$  Па·с; расход газа при температуре 400 °С  $V_r = 18\,000$  м<sup>3</sup>/ч = 5 м<sup>3</sup>/с; начальная концентрация пыли  $x_n = 60$  г/м<sup>3</sup>; цена электроэнергии Цэ = 0,016 грн/кВтч; нормативный коэффициент окупаемости  $E_n = 0,17$ ; коэффициент цеховых расходов  $K_{\text{ц.р.}} = 0,07$ ; коэффициент амортизации  $K_a = 0,1$ ; сопротивление аппарата  $\delta p < 700$  Па.

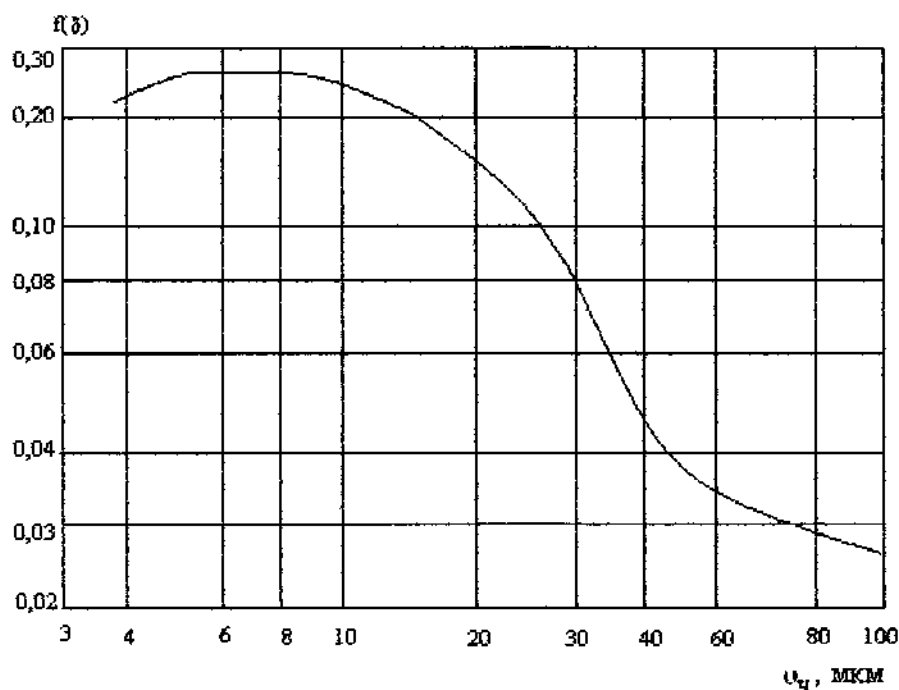
### Решение

Согласно заданию и рекомендациям табл. 7 по гидравлическому сопротивлению и температуре газа при заданном дисперсном составе выбираем пылеуловитель циклонного типа. Решение сводится к выбору оптимального варианта циклонной установки.

По заданному дисперсному составу строится в логарифмической сетке функция плотности распределения частиц (рис. 4), по которой находится фракционный состав пыли в новых градациях R( $\delta$ ):

$\delta_{\text{ц}}$ мкм	.. 5	10	20	30	40	60	80	100
X <sub>m</sub> , %	.. 23,8	23	14,5	7,4	4,9	3,4	2,8	2,5

\*) Расчёт циклона (см. глава 12)



**рис.4.Функция плотности распределения дисперсного состава частиц**

Поправка на влияние вязкости газа и плотности пыли по (гл.12.3.1.2 и 12.5)

Для построения кривой приведения выбираем в табл. 8 три значения  $n_{20}$ : 0,50; 0,70; 0,95. При  $n_{20} = 0,50$  из табл. 8 имеем значения величин  $n$ .

Учитывая вышеприведенный фракционный состав в новых градациях по уравнению, получим

$$n_1 = 0,07 \cdot 0,238 + 0,23 \cdot 0,23 + 0,5 \cdot 0,145 + 0,67 \cdot 0,074 + 0,77 \cdot 0,049 + 0,88 \cdot 0,034 + 0,93 \cdot 0,028 + 0,96 \cdot 0,025 = 0,31$$

Для  $n_1 = 0,31$  по (1.7) и табл.9 находим, учитывая абсолютные значения величин,  $A_1(a) = 2 \cdot 0,31 - 1 = -0,38$ ;  $a_1 = -0,50$ .

Учитывая поправку  $K_n = -0,103$ , определяем новое значение

$a = -0,50 - (-0,103) = -0,397$ . По табл.9  $A(a) = -0,31$  и по (см.гл.12) находим  $n_1 = 0,5 [1 + (-0,31)] = 0,35$ . При  $n_{20} = 0,70$  по аналогии с предыдущим расчетом имеем:

$$n_2 = 0,17 \cdot 0,238 + 0,41 \cdot 0,230 + 0,70 \cdot 0,145 + 0,83 \cdot 0,074 + 0,90 \cdot 0,049 + 0,95 \cdot 0,034 + 0,97 \cdot 0,028 + 0,98 \cdot 0,025 = 0,43;$$

$$A_2(a) = 2 \cdot 0,43 - 1 = -0,14; a_2 = -0,18.$$

С учетом поправки новое значение  $a = -0,18 - (-0,103) = -0,077$ . Исправленное значение  $n_2$ , где  $A(a) = -0,06$ , будет  $n_2 = 0,5 [1 + (-0,06)] = 0,47$ . При  $n_{20} = 0,95$  аналогично вышеизложенному имеем:

$$n_3 = 0,55 \cdot 0,238 + 0,82 \cdot 0,230 + 0,95 \cdot 0,145 + 0,98 \cdot 0,074 + 0,98 \cdot 0,049 + 0,99 \cdot 0,034 + 1,00 \cdot 0,028 + 1,00 \cdot 0,025 = 0,66;$$

$$A_3(a) = 2 \cdot 0,66 - 1 = 0,32; a_3 = 0,43, \text{ с учетом поправки } a = 0,43 - (-0,103) = 0,533; A(a) = 0,39; n_3 = 0,5 [1 + (0,39)] = 0,695 \sim 0,70.$$



Таблица 7.

## Усреднённые характеристики пылеуловителей.

Пылеуловители	Максимальное содержание пыли в газе $x_n$ , кг/м <sup>3</sup>	Размеры Улавливаемых частиц, $\delta_{\text{ч}}$ , мкм	Степень очистки $\eta$ , %	Гидравлическое сопротивление $\Delta p$ , Па	Максимальная температура газа на входе в аппарат $t_r$ , °C
Пылеосадительные камеры	---	100	30-40	---	не лимитируется
Жалюзийные пылеуловители	0,02	25	60	500	400-500
Циклоны	0,40	10	70-95	400-700	400
Батарейные циклоны	0,10	10	85-90	500-800	400
Тканевые фильтры	0,02	1	98-99	800-2500	100 <sup>*)</sup> 130 <sup>*)*)</sup> 250 <sup>*)*)*)</sup>
Центроб.скрубберы	0,05	2	85-95	400-800	Не лимитируются
Пенные аппараты	0,30	0,5	95-99	300-900	Не лимитируются
Электрофильтры	0,01-0,05	0,005	99 и >	100-200	425

\*) – Для шерсти и хлопка

\*)\*) – Для лавсана

\*)\*)\*) – Для стеклоткани

Таблица 8.

## Зерновые характеристики эталонных пылей.

$\delta_{\text{ч}}$ , мкм	Величина прохода $D(\delta) = 1 - R(\delta)$ по уравнению <sup>*)</sup>									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	0,07	0,09	0,11	0,14	0,17	0,21	0,25	0,32	0,42	0,55
10	0,23	0,27	0,31	0,36	0,41	0,47	0,53	0,61	0,70	0,82
20	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
30	0,67	0,71	0,75	0,79	0,83	0,87	0,89	0,93	0,96	0,98
40	0,77	0,81	0,84	0,87	0,90	0,92	0,94	0,96	0,97	0,98
60	0,88	0,90	0,92	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,98	0,99
80	0,93	0,95	0,96	0,97	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	1,00
100	0,96	0,97	0,98	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00

\*) – Количество пыли, проходящее через пылеуловитель, соответственно равно:  $\delta_n = V_{\text{Г}} \cdot X_n$ ;  $\delta_k = V_{\text{Г}} \cdot X_k$ , где  $V_{\text{Г}}$  – расход газа, проходящего через пылеуловитель, м<sup>3</sup>/с;  $X_n$ ,  $X_k$  – начальная и конечная концентрации пыли в газе, кг/м<sup>3</sup>.

Таблица 9.

Зависимость  $A(a)$  от аргумента  $a$ .

$a$	$A(a)$	$a$	$A(a)$	$a$	$A(a)$	$a$	$A(a)$
0,00	0,0000	0,55	0,4177	1,10	0,7287	1,65	0,9011
0,05	0,0399	0,60	0,4515	1,15	0,7499	1,70	0,9109
0,10	0,0797	0,65	0,4843	1,20	0,7699	1,75	0,9199
0,15	0,1192	0,70	0,5161	1,25	0,7887	1,80	0,9281
0,20	0,1585	0,75	0,5467	1,30	0,8064	1,85	0,9357
0,25	0,1974	0,80	0,5763	1,35	0,8230	1,90	0,9426
0,30	0,2358	0,85	0,6047	1,40	0,8385	1,95	0,9488
0,35	0,2737	0,90	0,6319	1,45	0,8529	2,00	0,9545
0,40	0,3108	0,95	0,6579	1,50	0,8664	2,25	0,9756
0,45	0,3473	1,00	0,6827	1,55	0,8789	2,50	0,9876
0,50	0,3829	1,05	0,7063	1,60	0,8904	-	-

Таким образом, трем значениям  $n_{20}$  соответствуют три значения полных к. п. д.:

$n_{20}$ .....	0,50	0,70	0,95
$n_t$ .....	0,31	0,47	0,70

По полученным трем точкам строим кривую приведения (рис.32), По которой находим, что для достижения заданной эффективности в 60 % нужно подобрать циклон, который имел бы  $n_{20}=0,85$ .

По графической зависимости (см. рис.31) определяем искомые варианты типов циклонов и  $t_y$

ЦН-24	.....	0,12
ЦН-15у	.....	0,25
ЦН-15	.....	0,36
ЦН-11	.....	0,55

Из полученного набора, обеспечивающего технологическое решение поставленной задачи, необходимо выбрать вариант, обладающий минимальными приведенными затратами.

Эксплуатационный коэффициент при плотности газа  $\rho_1=1,293 \cdot 273/(400+273)=0,52 \text{ кг/м}^3$  по, (см.гл.12), одинаковый для всех типов циклонов, равен

$$K_3 = 0,17+0,1+0,07/0,016 \cdot 0,52=40,9$$

С целью предотвращения конденсации паров воды в аппарате принимаем толщину теплоизоляции 100 мм и рассматриваем каждый тип аппарата из полученного набора.

Определяем конструктивный коэффициент циклона ЦН-24 по усредненному значению коэффициента капитальных затрат, используя табл.39 и 40 и зависимость (см.гл.12 )

$$K_{\text{ц}} = 1143/75=15,2$$

Оптимальный диаметр циклона по (3.10) равен:

$$D_{\text{онм}}=0,49 \cdot 0,12 \cdot (15,2 \cdot 40,9)^{1/2}=0,5 \text{ м.}$$

Принимаем диаметр циклона  $D = 0,5\text{м}$ .

Скорость газа в циклоне вычисляем по (1.14):

$$W_r = 0,5/0,12 = 4,17\text{м/с},$$

число циклонов в установке по (1.15):

$$z = \frac{4.5}{3.14 \cdot 0.5^2 \cdot 4.17} = 6.12 \text{ шт.}$$

Принимаем одну группу из шести циклонов. Тогда приведенные затраты по формуле (гл.12) и табл.39 для группы из шести циклонов составят:

$$ПЗ = \left[ \frac{5,5 \cdot 0,52 \cdot 75 \cdot 0,016 \cdot 0,5^2}{0,12^2} + \frac{1,27(0,17+0,1+0,07)1172 \cdot 0,12}{0,5^2} \right] \cdot 5 = 891,7$$

руб/год

### Глава 3. Заводы строительных материалов и изделий.

К заводам строительных материалов и изделий относятся предприятия, производящие силикатный кирпич, изделия из силикатных и ячеистых бетонов, известняковые заводы и заводы глиняного кирпича и черепицы.

#### 3.1 Общая характеристика предприятий.

**Заводы по производству силикатного кирпича, изделий из ячеистых и силикатных бетонов.**

**Силикатный кирпич** относится к группе автоклавных вяжущих материалов. На его производство затрачивается 15...18 часов.

**Сырьё и его характеристика.** Основным компонентом силикатного кирпича (85 - 90% по массе) является **песок**- рыхлое скопление зерен различного минерального состава размером 0,1 - 5 мм. Установлено, что оптимальная упаковка зёрен силикатной смеси находится в пределах соотношений от 9:3:1 до 16:4:1 (соответственно: крупные (0,5 - 1 мм), средние (0,25 - 0,5 мм), мелкие (0,1 - 0,25 мм)).

Песок, поступающий из забоя до его употребления в производство, должен быть отсеян от посторонних примесей - камней, комочков глины, веток, металлических предметов и т. п. Эти примеси в процессе производства вызывают брак кирпича и даже поломки машин. Поэтому над песочными бункерами на производстве устанавливают барабанные грохоты.

Известь является второй составной частью сырьевой смеси, необходимой для изготовления силикатного кирпича. Сырьём для производства извести являются карбонатные породы, содержащие не менее 95% углекислого кальция  $\text{CaCO}_3$ . К ним относятся известняк плотный, известняковый туф, известняк-ракушечник, мел, мрамор. Известняк состоит из известкового шпата - кальцита - и некоторого количества различных примесей: *углекислого магния, солей железа, глины* и др. Породу с известняком также просеивают через грохоты.

Основным вяжущим материалом для производства силикатных изделий является строительная воздушная известь. По химическому составу известь состоит из окиси кальция ( $\text{CaO}$ ) с - примесью некоторого количества окиси магния ( $\text{MgO}$ ). На заводах силикатного кирпича применяется негашеная известь.

**Требования к воде.** При производстве силикатного кирпича воду применяют на всех стадиях производства: при гашении извести, приготовлении силикатной массы, прессовании и запаривании кирпича-сырца, получении технологического пара..

Применять жесткую воду в промышленных целях, например для получения технологического пара, без предварительного умягчения ее нельзя, иначе при кипении воды на стенках промышленных котлов образуется накипь, которая выводит их из строя. При снабжении котлов мягкой водой удлиняется срок их службы.

Борьба с накипью в паровых котлах осуществляется двумя способами: обработкой воды умягчением до поступления ее в паровые котлы и внутрикотловой обработкой.

Воду умягчают двумя способами: термическим и химическим. Термический способ основан на разложении карбонатной жесткости нагреванием воды до  $85 - 110^\circ$ , при этом образуются труднорастворимые выпадающие в осадок карбонат кальция и гидроокись магния. Этот способ обычно применяется в сочетании с химическим методом. Реагентами при этом являются *едкий натр* и *кальцинированная сода*.

Внутрикотловая обработка заключается в растворении накипи *соляной кислотой* (5 - 7-процентным раствором), для чего через паровые котлы прокачивают раствор. Продолжительность промывки зависит от степени загрязнения (но не больше - 10-20 час). По окончании кислотной промывки и после удаления кислоты котлы промывают слабым раствором *щелочи*. Для получения сырьевой смеси (силикатной массы) требуемого качества необходимо правильно **дозировать** их. Необходимое количество песка отмеривается по объему, а известь по весу при помощи бункерных весов. Общий расход воды для получения силикатной массы требуемого качества составляет около 13% (от веса массы) и распределяется следующим образом (в %):

- на гашение извести.....2,5
- на испарение пригашений.....3,5
- на увлажнение массы.....7,0

**Приготовление силикатной массы.** Подготовленные известь и песок непрерывно подаются питателями в заданном соотношении в одновальную мешалку непрерывного действия и увлажняются. Перемешанная и увлажненная масса поступает в силосы, где выдерживается от 4 до 10 час, в течение которых известь гасится.

Силос представляет собой цилиндрический сосуд из листовой стали или железобетона; высота силоса 8 - 10 м, диаметр 3,5 - 4 м. В нижней части силос имеет конусообразную форму. Силос разгружается при помощи

тарельчатого питателя на ленточный транспортер, при этом происходит большое выделение пыли.

Работа силоса протекает следующим образом. Внутри силос разделен перегородками на три секции. Масса засыпается в одну из секций в течение 2,5 час, столько же требуется и для разгрузки секции. К моменту заполнения силоса нижний слой успевает вылежаться в течение того же времени, т.е. около 2,5 час. Затем секция выстаивается 2,5 часа, и после этого ее разгружают. Таким образом, нижний слой гасится около 5 час. Так как разгрузка силосов происходит только снизу, а промежуток между разгрузками составляет 2,5 часа, то и все последующие слои также выдерживаются в течение 5 час. в непрерывно действующих силосах.

**Прессование сырца.** На качество кирпича и в основном на его прочность наиболее существенно влияет давление, которому подвергается силикатная масса во время прессования. В результате прессования происходит уплотнение силикатной массы.

Процесс прессования кирпича складывается из следующих основных операций: наполнения прессовых коробок массой, прессования сырца, выталкивания сырца на поверхность стола, снятия сырца со стола, укладки сырца на запарочные вагонетки, которые транспортируются в автоклавы, где производится тепло-влажная обработка кирпича.

**Процесс автоклавной обработки.** Для придания необходимой прочности силикатному кирпичу его обрабатывают насыщенным паром; при этом температурное воздействие сочетается с обязательным наличием в кирпиче-сырце водной среды, которая благоприятствует протеканию реакции образования цементирующих веществ с максимальной интенсивностью. Насыщенный пар используется с температурой 175°C при соответствующем такой температуре давлении в 8 атм. Автоклав представляет собой трубу длиной 19м и диаметром 2м, вместимостью 12 вагонеток ( $V=5965 \text{ м}^3$ ).

Режим работы автоклава:

- 1,5 час. - подъём пара,
- 5-6 час. - выдержка,
- 1-1,5 час. - спуск пара.

В процессе автоклавной обработки, т. е. запаривания кирпича-сырца, насыщенный пар впускают в автоклав с сырцом. При этом пар начинает охлаждаться и **конденсироваться** на кирпиче-сырце и **стенках автоклава**. После подъема давления пар начинает проникать в мельчайшие поры кирпича и превращается в воду. Следовательно, к воде, введенной при изготовлении силикатной массы, присоединяется вода от конденсации пара, это дополнительно увлажняет сырец в процессе запаривания.

Таким образом, полный технологический цикл запаривания кирпича в автоклаве состоит из операций очистки и загрузки автоклава, закрывания и закрепления крышек, перепуска пара; впуска острого пара, выдержки под давлением, второго перепуска, выпуска пара в атмосферу, открывания

крышек и выгрузки автоклава. Совокупность всех перечисленных операций составляет цикл работы автоклава, который равен 10-13 час.

**Силикатный бетон** изготавливают из кварцевого *песка*, *известки* и *гипсового камня*. Для приготовления **ячеистого бетона** добавляют газообразователь. Чаще всего это *алюминиевая пудра*, которая, реагируя с гидратом окиси кальция, выделяет водород. Аллюминиевая пудра при хранении в большом объеме самовозгорается. Для предотвращения этого при изготовлении аллюминиевой пудры ее частицы покрывают *парафиновой или стеариновой пленкой*, вследствие чего они плавают на поверхности воды и цементного раствора. Пленка препятствует протеканию реакции газообразования с выделением вспучивающего газобетонную массу водорода.

Для удаления жировой пленки (парафина) аллюминиевую пудру необходимо предварительно обработать. Удаления пленки ведется методом прокаливании в электрических печах в течение 2-4 час при температуре от 190 до 250 °С. Прокаливание повышает реакционную способность и улучшает смешивание аллюминиевой пудры с водой.

**Технологический процесс** изготовления автоклавных ячеистобетонных изделий включает в себя прием и подготовку сырьевых материалов, приготовление ячеистобетонной смеси, формование массивов ячеистого бетона, разрезку массивов на изделия, автоклавную обработку и упаковку изделий. Кремнеземистый компонент выгружаются в приемный бункер, откуда по ленточному конвейеру поступают на грохот, где отделяется крупная фракция и загрязнения, а далее на помол для приготовления шлама и известково-кремнеземистого вяжущего.

Основными компонентами ячеистобетонной смеси, подлежащими предварительной подготовке (помолу), являются:

- смешанное вяжущее (известково-цементное, известково-шлаковое, шлакощелочное, известково-песчаное);
- зольное вяжущее;
- кремнеземистый компонент (молотый кварцевый песок или кислая зола теплоэлектростанций).

Чаще всего используется технология приготовления известково-песчаного вяжущего путем совместного помола в шаровых мельницах известки и кремнеземистого компонента в примерном соотношении 1:1. Содержание активного оксида кальция (СаО) в вяжущем должно быть в пределах 30-40%

Молотый кварцевый песок используется в виде песчаного шлама. Для приготовления шлама в мельницу мокрого помола дозируется песок, вода и возможно добавки - интенсификаторы помола. Подача сырьевых материалов в шаровую мельницу, как при сухом, так и мокром помоле осуществляется непрерывно автоматическими весовыми дозаторами с определенной точностью дозирования. Песчаный шлам пневмоустановкой подается в шламбассейны, где производится его гомогенизация за счет механического перемешивания.

**Приготовление ячеистобетонной смеси** производится в смесеприготовительном отделении завода. Бетоносмеситель для производства ячеистого бетона представляет собой цельнометаллический сосуд - тонкостенную стальную чашу или цистерну. В зависимости от требуемой емкости смеситель может иметь вертикальное или горизонтальное расположение чаши. Смеситель - центральный компонент технологической линии.

Для приготовления бетонной смеси используют водопроводную питьевую, а также любую воду, имеющую *водородный показатель pH* не менее 4 (т. е. не кислую, не окрашивающую лакмусовую бумагу в красный цвет). Вода не должна содержать *сульфатов* более 2700 мг/л (в пересчете на 304) и *всех солей* более 5000 мг/л. Заданный состав смеси обеспечивается точным дозированием компонентов. Последовательность загрузки материалов в гидродинамический смеситель для ячеистобетонной смеси может быть различной.

Формование ячеистобетонного массива выполняется в соответствии с принятым технологическим способом производства: литьевым, вибрационным или ударным. Формовочно-резательное отделение состоит из поста формования ячеистобетонных массивов, участков предварительной выдержки ячеистобетонных массивов до их резки (распалубки и очистки, сборки и смазки форм, поста резки и калибровки, участка утилизации отходов, участка комплектации и транспортировки разрезанных массивов). Процесс формования включает разгрузку (заливку) смеси из смесителя в форму и вспучивание смеси. Окончание процесса формования наступает после достижения максимальной высоты вспучивания и прекращения активного газовыделения смеси.

Общая продолжительность цикла формования с учетом установки форм, заливки смеси и формования составляет 12-20 мин. После "вызревания" и достижения сырцом пластической прочности 0,15-0,04 МПа формы распалубливают и массивы подаются на резательный комплекс.

Разрезанные массивы подаются на пост комплектации, где устанавливаются на автоклавные тележки и загружаются в автоклав. После полной загрузки автоклава начинается тепловлажностная обработка ячеистобетонных изделий по определенному режиму. Тепловую обработку бетона производят преимущественно в автоклавах в среде насыщенного водяного пара при температуре 175-200°C и давлении 0,8-1,3 МПа. На 1 м<sup>3</sup> бетона требуется 150 кг пара + 15 кВт.

После завершения цикла тепловлажностной обработки ячеистобетонные изделия подаются на участок деления и упаковки, а далее на склад готовой продукции.

**Производство извести** состоит в обжиге известняка ( $\text{CaCO}_3$ ) и доломита ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ) до высвобождения диоксида углерода и образования извести или доломитизированной извести. Обычно заводы по производству извести расположены непосредственно в месте или около разработок известняка для уменьшения затрат на перевозку сырья.

На известняковых заводах производят комовую, карбонатную и гашеную известь. Комовая известь получается путем обжига известняка в шахтных и вращающихся печах. Карбонатная известь получается путем помола комовой извести с известняковой мелочью и гипсовым камнем. Для получения гашеной извести используется комовая известь.

**Производство негашеной извести** происходит при обжиге природного карбоната кальция (известняка) в шахтных и вращающихся печах.

ОАО «Криворожсталь» производит: известь негашеную доломитизированную, известь негашеную, пыль известково-известняковую, отсев известняка.

**Производство кирпича и черепицы** включает: добычу, дробление, просеивание и составление шихты из исходных материалов, формирование, резка или фотокопирование, сушку и обжиг конечного продукта. Исходными материалами для производства кирпича и черепицы являются существующие в природе материалы, которые, как правило, добывают открытым способом. Некоторые виды мелкозернистых глин добывают из глубины: полевой шпат, песок, известняк и т.д.

Сырьем для производства кирпича и черепицы служат глины или суглинки и отошающие добавки.

Кирпич, черепица и строительная керамика производятся по аналогичным технологическим схемам, включающим следующие операции: измельчение и перемешивание глин с добавками, её увлажнение и проминание, формовку, сушку и обжиг изделий.

**Производство магнезита.** Из него делают огнеупорный кирпич и цементные блоки для стенок щелочной печи (химическая промышленность), используют в конструкциях печей металлургии и др. Магнезит получают при обжиге природного карбоната магния в шахтных и вращающихся печах.

**Производство бетона.** Бетон производит большое количество заводов, как передвижных, так и стационарных. Для образования бетонной смеси тщательно смешивают отмеренные порции песка, цемента и наполнителя. На одних заводах в эту смесь добавляют воду в миксерах, установленных на бетонозаводах, перемешивают порцию бетона во время доставки к месту строительства. Иногда бетонную смесь направляют к месту работы в сухом состоянии, а добавку воды и перемешивание производят на месте. При строительстве крупных объектов бетонную смесь обычно готовят на месте строительства (строительство дамб и мостов, гидро- и атомных электростанций и др.).

### **Выбросы.**

Единственным загрязнением атмосферы при работе бетонных заводов есть аэрозоли, которые возникают при разработке, погрузке, переделывании материалов, используемых при производстве бетона. Песок, гравий и мелкий наполнитель подлежит промыванию к их доставке на бетонный завод, поэтому они относительно свободные от пыли, достаточно увлажненные и не являются существенным источником выбросов пыли. Цемент является сухим



материалом, который содержит мелкозернистые частицы, легко взрывается. Легкий вспененный наполнитель также вызывает запыление, если его не увлажнили перед использованием.

Выброс цементной пыли на заводах по производству бетона происходит из неплотности в конвейерной системе и из отверстия бункеров. Величина выноса пыли изменяется в широких границах на разных заводах в зависимости от герметичности конвейеров, бункеров и операции погрузки. Средняя величина выноса пыли составляет приблизительно 0,045 кг/т производственного цемента.

### **3.2. Источники загрязнения вод и воздуха на заводах строительных материалов и методы и очистки.**

#### **Источники загрязнения вод.**

Силикатный бетон изготавливают из кварцевого песка, извести и гипсового камня. Для приготовления ячеистого бетона добавляется алюминиевая пудра.

Известь, песок и гипсовый камень измельчают в шаровых мельницах, смешивают в бетономешалках, после этого они поступают на формовку. Отформованные изделия обрабатывают в автоклавах паром высокого давления.

Ячеистый бетон готовят в газобетономешалке. Для образования ячеистой структуры к бетону добавляют смесь алюминиевого порошка с поверхностно активными веществами (клееканифольной эмульсией или сульфитно-спиртовой бардой). Готовая масса загружается в формы, где она вызревает, обрабатывается и направляется далее для запарки в автоклавы.

На предприятиях, производящих силикатный кирпич и изделия из силикатных и ячеистых бетонов, образуются два основных вида производственных сточных вод: незагрязненные сточные воды от компрессорных установок, охлаждения машин и механизмов, котельной; загрязненные сточные воды от автоклавов (конденсат) и циклонов мокрой очистки аспирационного воздуха.

Удельный расход сточных вод на 1000 шт. кирпича составляет  $0,9 \text{ м}^3$ ; на  $1 \text{ м}^3$  изделий из ячеистых и силикатных бетонов -  $0,5-0,6 \text{ м}^3$ . Количество сточных вод от циклонов мокрой очистки аспирационного воздуха составляет  $0,02-0,06 \text{ м}^3$  на  $1000 \text{ м}^3$  очищенного воздуха.

Стоки циклонов мокрой очистки аспирационного воздуха содержат  $1,5-16 \text{ г/л}$  мелких фракций песка, извести, гипсового камня и глины. Конденсат из автоклавов содержит до  $0,1 \text{ г/л}$  солей металлов, сульфатов и хлоридов; температура этого стока  $100-150^\circ\text{C}$ . Стоки котельной от промывки и регенерации фильтров химводоочистки содержат до  $0,15 \text{ г/л}$  песка, солей металлов и поваренной соли. (рис.5)

Сточные воды от охлаждения машин и механизмов (так называемые 'условно чистые воды'), охлаждения крышек автоклавов, после охлаждения, на градирнях используются в системах оборотного водоснабжения (рис.5). Осветленные сточные воды от циклонов мокрой

очистки аспирационного воздуха могут быть повторно использованы для технологических нужд.

Очистка сточных вод от циклонов аспирационной очистки воздуха производится в прудах-осветлителях и в отстойниках.

Пруды-осветлители рассчитываются на продолжительность отстаивания 5 - 10 суток; средняя глубина прудов чаще всего составляет 2 - 3 м; объемный вес отлагающегося в прудах осадка 1,6 - 2 т/м<sup>3</sup>.

Так как пруды – осветлители заделывают много земли (до 5-10 га.)<sup>\*)</sup>, то целесообразнее в настоящее время использовать радиальные, горизонтальные или вертикальные отстойники.

<sup>\*)</sup>Примечание автора: 1 га украинского чернозёма может прокормить, одеть, обуть, дать продукцию для 33 человек.

Отстойники рассчитываются на пребывание в них сточной жидкости в течение 2-3 ч. Влажность выпадающего в отстойниках осадка зависит от продолжительности пребывания его в сооружении и колеблется в пределах 85-90 %. Грязевая часть отстойника рассчитывается не менее чем на 3-часовое хранение осадка. Расчетную скорость потока в отстойниках принимают в пределах до 10 мм/сек. Глубину проточной части отстойника (горизонтального) принимают с учетом местных условий; обычно она не превышает 1,5м. Наибольшая высота слоя осадка в отстойнике 0,3-0,6м; влажность осадка 85-90%.

В последнее время для получения высокой степени очистки сточных вод от нерастворимых примесей применяют механо-химическую обработку стоков. В качестве реагентов применяют сернокислый алюминий, известь или катионактивные флокулянты. Дозы реагентов определяются экспериментально в процессе эксплуатации; при ориентировочных расчетах можно принимать дозу сернокислого алюминия ~ 200 мг/л; дозу извести 70 – 100 мг/л (в пересчете на СаО); дозу катионактивных флокулянтов 5-20 мг/л.

Реагенты добавляют перед песколовками и отстойниками. Продолжительность пребывания стоков в песколовках не превышает 5 мин; скорость восходящего потока – 5-10 мм/сек. В этих условиях в песколовках задерживаются в основном наиболее грубые примеси, количество которых подвержено значительным колебаниям.

Расчетная продолжительность отстаивания с добавкой реагентов намного меньше, чем без реагентов: обычно она равна 1ч.

Скорость потока в вертикальных отстойниках – 0,75-1 мм/сек. Влажность осадка, выпадающего в вертикальных и горизонтальных отстойниках после 3-х часового пребывания его под водой, 75-85%:

Скорость протока в вертикальных отстойниках - 0,75-1 мм/сек. Влажность осадка, выпадающего в вертикальных и горизонтальных отстойниках после 3-часового пребывания его под водой, 75-85%; влажность удаляемого осадка зависит от способа удаления.

### **Источники загрязнения вод**

При применении на известковых заводах пересыпных печей количество сточных вод составляет  $0,2 \text{ м}^3$  на 1 т комовой извести, а при применении газовых печей  $-1,4 \text{ м}^3$ .

На заводах образуются производственные сточные воды двух основных видов: незагрязненные воды от охлаждения балок обжиговых печей и компрессоров и загрязненные сточные воды от аспирационных систем мокрой очистки воздуха.

Незагрязненные сточные воды используются в системах оборотного водоснабжения. Загрязненные стоки от аспирационных систем подвергаются механической очистке в отстойниках и бензомаслоуловителях. В практике находят применение вертикальные и горизонтальные отстойники (технологический расчет и конструкции таких сооружений приведены ранее). Бензомаслоуловители рассчитываются на продолжительность отстаивания 5-10 мин. Скорость потока сточной жидкости не имеет большого значения; обычно ее принимают такой же, как в отстойниках. Удаление осадка и масел механизмуется.

### **Источники загрязнения вод**

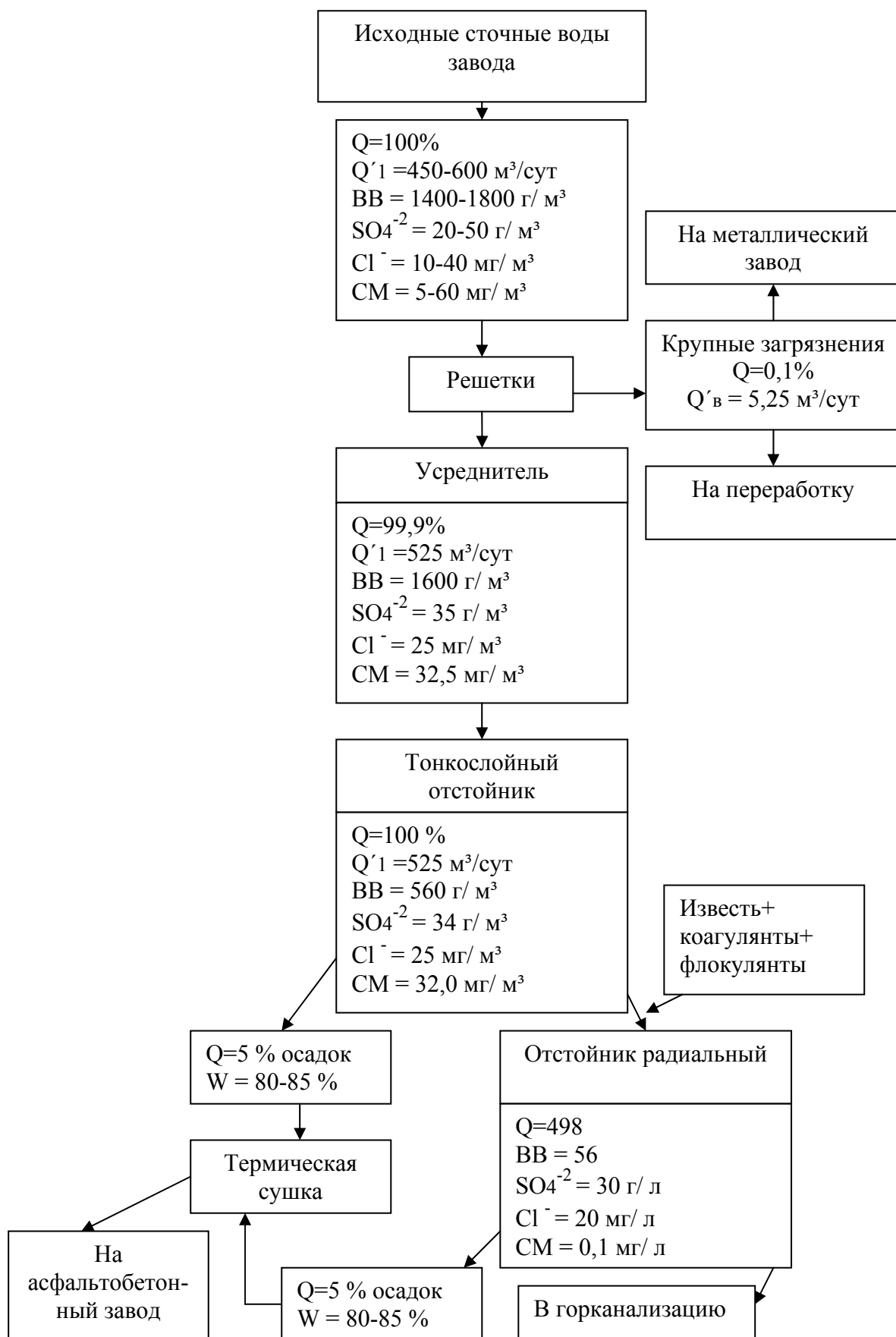
На заводах глиняного кирпича и черепицы образуются сточные воды от охлаждения мундштуков прессов, охлаждения вакуум-насосов, мойки оборудования, циклонов мокрой очистки аспирационного воздуха, котельной (продувка котлов и химводоочистки).

Количество сточных вод на 1000 шт. условного кирпича составляет  $0,6 - 0,7 \text{ м}^3$ , а на 1000 шт. черепицы  $- 0,3-0,5 \text{ м}^3$ .

Сточные воды от охлаждения мундштуков прессов загрязнены частицами глины и песка; количество этих примесей достигает 150 г/л. Стоки от циклонов мокрой очистки аспирационного воздуха содержат частицы пыли, образующейся при обработке глины и добавок; концентрация примесей 1,5 г/л. Охлаждающие воды содержат следы масла.

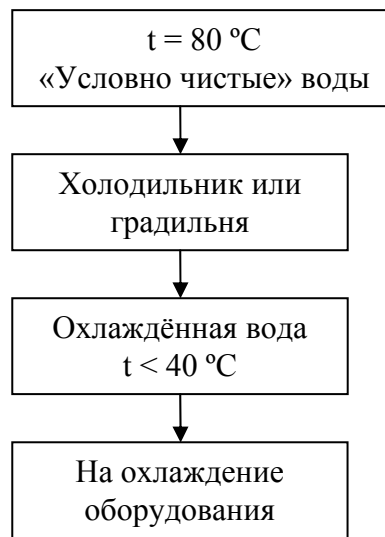
В зависимости от условий выпуска сточных вод (в водоем, городскую канализацию) их подвергают механической или механохимической очистке.

Расчетные параметры для проектирования очистных сооружений приведены выше.

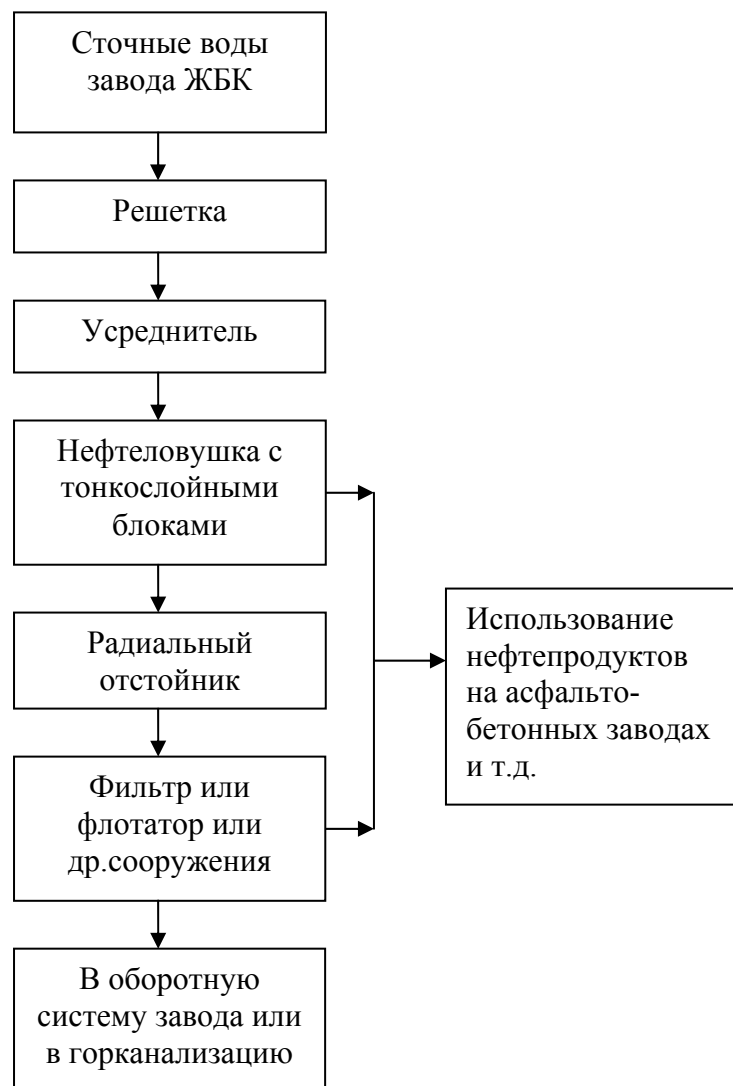


**Рис.5. Технологическая схема очистки стоков завода по производству строй изделий. (стоки из цеха силикатного кирпича и цеха ячеистого бетона).**

**Рис.6. Технологическая схема охлаждения «условно чистой» воды.**



**Рис.7. Технологическая схема очистки сточных вод завода ЖБК.**



## **Производство извести**

### **Выбросы в атмосферу**

Как и в производстве цемента, выбросы аэрозолей являются основной проблемой загрязнения атмосферы при производстве извести. Это определяется не только объемом потенциального выброса, но также и видимым белым цветом выброса (удельный выброс пыли при производстве извести на 1 т продукции составляет 109,9 кг). При производстве извести также выбрасывают продукты сгорания топлива, включая оксиды серы, углерода и азота. Объем выброса зависит от типа топлива и эффективности работы обжиговой печи. При этом выбрасываются большие количества диоксида углерода, приблизительно равные количеству производимой извести.

### **Подавление выбросов в атмосферу**

Наиболее часто для улавливания аэрозолей используют тканевые фильтры, электрофильтры, скрубберы Вентуры, предваряемого циклонами (рис. 2). Работает также некоторое количество фильтров с гравийным слоем. Все эти устройства могут работать с эффективностью улавливания от 99% и выше.

Как и в случае печей, применяемых при производстве цемента, использование тканевых или электростатических фильтров для очистки требует предварительного охлаждения отходящих газов. Следует отметить, что при высоких температурах могут применяться фильтры с гравийным слоем и скрубберы.

Выбросы от гидратов извести улавливаются при помощи распыления воды в мокрых скрубберах. Выбросы от сушильных установок улавливаются циклонами с последующими тканевыми фильтрами или скрубберами с перепадом давления в 762 мм воды. В дополнение к системам очистки отходящих газов от обжиговой печи принимают улавливающие устройства для уменьшения выброса аэрозолей от систем переработки минерального сырья и конечного продукта. Для того чтобы отвалы не становились источниками выбросов пыли их необходимо обрызгивать водой.

### **Производство кирпича и керамики. Выбросы в атмосферу**

Выбросы частиц мелкодисперсной сухой глины и ее примесей при погрузо-разгрузочных работах и производственных операциях является основными источниками загрязнения при производстве кирпича и черепицы. Выбросы из печей возникают от сгорания топлива, озоления и испарения примесей, находящихся в глине. Эти выбросы изменяются в зависимости от вида топлива, природы примесей и рабочих температур.

Согласно оценкам объем выбросов в отсутствие пылеподавления от операций сушки и дробления колеблется от 30 до 4 кг га 1т. конечного продукта.

### **Подавление выбросов в атмосферу.**

Большинство заводов по производству кирпича и черепицы и керамических изделий мокрым способом и при использовании газового или

нефтяного топлива для обжиговой печи имеет небольшое количество оборудования, улавливающего загрязнения. В случае сухого способа производства керамических изделий, когда обращение и переработка сырья приводят к выбросам в атмосферу, для уменьшения этих выбросов применяют системы водяных разбрызгивателей, а также закрытые конвейеры.

Выбросы от обжиговых печей необходимо подвергать очистке от аэрозолей или фтористых соединений. Применение мокрых скрубберов может эффективно уменьшить эти выбросы. В некоторых случаях требуется очистка используемой в скрубберах воды от фторидов.

### **3.3.АСФАЛЬТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО.**

Заводы по производству горячего асфальта похожи один на другой, хотя производят много различных типов асфальтных покрытий. Разница в конечном продукте определяется размером и типом применяемого напылителя, а также характеристиками производимого асфальта. Горячий асфальт для дорожных покрытий классифицируют по количеству грубого, крупного и мелкозернистого наполнителя и минеральной пыли.

#### **ВЫБРОСЫ.**

Основными источниками загрязнений атмосферы являются выбросы аэрозолей из сушильных барабанов. Происходят также разовые выбросы аэрозолей при хранении наполнителя и его обработке дорог, на территории завода и выбросы пахучих смолистых веществ в местах хранения асфальта и установок для его смешивания.

Величина выброса из сушильных барабанов зависит от размера гранул наполнителя и типа применяемого топлива. Выбросы в отсутствие давления в среднем составляют примерно 20 кг/т наполнителя. Выбросы составляют относительно крупные частицы, размер более 50% из них превышает 20мкм и зависит от используемого наполнителя. Газообразных выбросов оксидов серы и азота гораздо меньше, чем выбросов аэрозолей. В общем случае газообразные выбросы составляют менее 0,045 кг/т. Выброс альдегидов из сушильных барабанов составляет 0,01 кг/т. Выбросы из мешалок невелики и, за исключением возможных проблем, связанных с выбросом пахучих веществ, как правило, не существенны.

#### **ПОДАВЛЕНИЕ ВЫБРОСОВ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ЗАВОДОВ.**

Выбросы из сушильных барабанов улавливаются либо скрубберами, либо рукавными фильтрами, перед которыми расположены циклоны. Эти устройства уменьшают выбросы более чем на 99%. Стандарты функционирования новых источников выбросов устанавливают максимум, равный  $0,01\text{г/м}^3$  от любого источника внутри завода. Видимые выбросы могут иметь мутность более 20%. Этот предел выброса может быть достигнут при помощи или скрубберов с малым потреблением энергии, или тканевых фильтров.

## Глава 4

### **Заводы по производству крупных панелей, железобетонных изделий и конструкций.**

К предприятиям строительной индустрии относятся заводы крупнопанельного домостроения, железобетонных изделий и конструкций, комбинаты строительных материалов и изделий, производственные базы строительства. На заводах изготавливают комплекты сборных железобетонных изделий, а также изделия и конструкции для промышленного и жилищного строительства.

Незагрязненные стоки поступают от охлаждения сварочных машин арматурных цехов, вакуум-насосов в складах цемента и компрессоров.

Загрязненные стоки образуются в бетоносмесительном цехе – при промывке бетономешалок и бетоноводов; формовочном цехе – при промывке бетоноводов, камерных питателей и смыве бумаги с карт керамической плитки (к этой группе стоков относится также конденсат от пропарочных камер).

Незагрязненные стоки (условно «чистые») сбрасываются равномерно и, как правило, направляются в систему оборотного водоснабжения с охлаждением на градирне. Условно «чистые» стоки пригодны для использования в замкнутых циркуляционных системах водоснабжения, что следует предусматривать при проектировании наружной канализации заводов строительной индустрии.

Суммарное удельное количество производственных сточных вод на предприятиях строительной индустрии колеблется в значительных пределах: на заводах крупнопанельного домостроения и железобетонных изделий и конструкций количество сточных вод при прямоточной системе водоснабжения колеблется от 0,4 до 2,2 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> жилой площади; при оборотной системе водоснабжения оно снижается (соответственно) до 0,25 и 1,2 м<sup>3</sup>.

Примерно такое же количество сточных вод образуется на комбинатах стройматериалов и изделий. При прямоточной системе водоснабжения оно колеблется от 1,2 до 2,3 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> железобетонных изделий; при оборотной системе водоснабжения – от 0,8 до 1,4 м<sup>3</sup>.

Удельные количества сточных вод по технологическим операциям и цехам заводов строительной индустрии приведены в табл. 7



**Таблица 7**

**Удельные количества сточных вод в м<sup>3</sup> на единицу продукции**

Технологическая операция и цех	Заводы крупнопанельного домостроения		Заводы железобетонных изделий и конструкций	
	Количество сточных вод на 1м <sup>2</sup> жилой площади	Коэффициент неравномерности притока	Количество сточных вод на 1м <sup>3</sup> железобетонных изделий	Коэффициент неравномерности
<b>Незагрязненные сточные воды</b>				
Охлаждение сварочных машин, вакуум-насосов и компрессоров	0,15-1	1	0,2-0,9	1
<b>Загрязненные сточные воды</b>				
Промывка бетономешалок и бетоноводов	0,02-0,2	0,9-1,8	0,2-0,3	0,9-2,5
Смыв бумаги с карт керамической плитки	0,02-0,2	1,2-1,5	0,05	1-1,5
Пропарочные камеры	0,1-0,2	1	0,15-0,3	1
Мытье пола в производственных цехах*)	0,01-0,05	-	0,05	-
Стоки котельной	0,03-0,3	0,8-1,7	0,2-0,5	0,8-1,9
Прочие неучтенные расходы	0,02-0,05	1-1,4	0,07	1-3

\*) Производится периодически 3 раза в сутки.

Суммарное количество сточных вод от промывки оборудования зависит от числа промываемых агрегатов; удельный расход воды на промывку принимается в размере 0,5м<sup>3</sup> на единицу установленного оборудования.

Общее количество сточных вод комбинатов стройматериалов и изделий и производственных баз может значительно возрасти, если в составе их цехов имеется производство изделий из силикатных масс, карьеров камня и камнедробильное хозяйство. Дополнительное количество сточных вод от этого вида производств учитывается по данным технологов.

Характеристика состава сточных вод отдельных технологических процессов приведена в табл.8

Таблица 8

**Характеристика состава сточных вод  
отдельных технологических процессов**

Показатели загрязненности	Концентрация	
	Промывка бетономешалок и бетоноводов	Конденсат от пропарочных камер
Взвешенные вещества (песок, бетон, цемент и т.п.), мг/л	3000-15000	
Масло: после изделий, мг/л	30-50	50-70
после формовки труб, мг/л (эмульсол)	50-500	50-70
РН	7.5	7

На предприятиях строительной индустрии устраиваются отдельные канализационные сети для отведения незагрязненных производственных сточных вод, загрязненных производственных сточных вод, атмосферных и очищенных производственных сточных вод, бытовых сточных вод.

Канализационная сеть и насосные станции перекачки сточных вод проектируются по СН и П. При этом учитывается повышенное содержание тяжелых примесей в стоках от бетономешалки.

Очистка загрязненных производственных сточных вод производится на цеховых очистных установках. Такие установки устраивают в формовочном и бетоносмесительных цехах и при складе цемента.

В случае возврата в производство очищенных сточных вод концентрация взвешенных веществ в них не должна превышать 50 мг/л, нефтепродуктов – 10 мг/л.

Общий загрязненный сток подвергают усреднению (рис. 7) с гидравлическим или пневматическим взмучиванием воды, равномерной перекачке, отстаиванию в течение 3-4 ч. С удалением плавающих нефтепродуктов. Нефтепродукты удаляют на маслоуловителях, тонкослойных нефтеловушках, фильтрах, флотаторах.

При расчете отстойников принимают:

- продолжительность отстаивания в ч – 1,5-2
- расчетная скорость потока, мм/сек – 3-5 (min 0,4-0,5)
- высота слоя осадка, м – 0,5
- объем осадка – 0,5-1,5% объема сточных вод.

Сточные воды от охлаждения вакуум-насосов перед использованием в замкнутых циркуляционных циклах подвергают предварительному осветлению в отстойниках.

## **Влияние заводов строительной индустрии на загрязнение атмосферного воздуха.**

В атмосферу выбрасывается пыль, образующаяся при погрузке, разгрузке, транспортировке материалов, особенно цемента, так как цемент на 10-20% состоит из частиц размером менее 5 мкм.

Основными источниками загрязнения атмосферы при производстве железобетонных изделий, являются места разгрузки железобетонных вагонов с цементом, песком и щебнем, места разгрузки цемента в ёмкости пневмотранспортёром, расходные бункера, бетоносмесители, ёмкости для приготовления и хранения смазочных материалов, посты ручной и полуавтоматической сварки арматуры.

Отходы пылегазоочистки могут быть использованы либо вторично на заводе ЖБК и др., либо отправлены на переработку на другие предприятия.

### **Глава 5.**

## **Влияние керамических, керамзитовых и фаянсовых заводов на окружающую среду и разработка мероприятий, направленных на уменьшение загрязнений.**

### **5.1. Общая характеристика предприятий.**

Керамика является одним из самых древних строительных материалов, но, несмотря на это, не потеряла своего актуального значения и в наши дни.

Подтверждением этому служит тот факт, что она является пока еще основным стеновым материалом, так как до 70% общего объема городской застройки выполняется из кирпича и керамических камней. Производство их занимает почти 60% всех промышленных фондов строительной керамики.

Строительные керамические материалы и изделия в зависимости от основного назначения делятся на группы:

- 1) *Стеновые материалы* - кирпич глиняный обыкновенный, кирпич глиняный пустотелый и пористо-пустотелый пластического прессования, кирпич строительный легкий;
- 2) *Кирпич и камни строительные глиняные специального назначения* - кирпич глиняный лекальный, камни для канализационных сооружений;
- 3) *Изделия керамические пустотелые для перекрытий* - камни для часторебристых перекрытий, камни для накатов;
- 4) *Изделия керамические для облицовки фасадов зданий* - кирпич и камни, керамические лицевые, ковровая керамика, плиты керамические фасадные;
- 5) *Изделия керамические для внутренней облицовки* - плитки для облицовки стен, детали встроенные, плитки для полов;
- 6) *Кровельные материалы* - черепица глиняная;
- 7) *Трубы керамические канализационные и дренажные*;
- 8) *Изделия керамические кислотоупорные* - трубы кислотоупорные.

К тонкой керамике относятся тонкостенные изделия из бело - или светложгущихся глин и каолинов. Изделия из тонкой керамики могут также быть пористыми (из фаянса) и плотными, неглазурованными, например, из технического фарфора, и покрытыми прозрачной или глухой глазурью,

например, электротехнический фарфор.

## **5.2. Особенности технологии изготовления керамических изделий.**

Несмотря на широкий ассортимент керамических изделий, разнообразность их форм, физико-механических свойств и видов сырьевых материалов основные этапы изготовления таких изделий общие: добывание сырьевых материалов, подготовка керамической массы (шихты), формирование изделий (сырья), сушения, выжигания, обработка и упаковка.[13]

Сырье добывают на карьерах открытым способом – экскаваторами. От карьера к заводу сырье перевозят автосамосвалами, вагонетками или конвейерами. Заводы керамических изделий строят вблизи места добычи сырья, причем карьер является составной частью завода.

Обычно глина из карьера непригодна для формирования изделий. Поэтому перед этим необходимо приготовить керамическую (рабочую) массу. Целью этого процесса, является разрушение естественной структуры сырья, удаление вредных примесей, обеспечения равномерного смешивания всех компонентов до получения однородной массы, пригодной для формирования.

Обработка глинистого сырья может быть естественной (использование атмосферных процессов - увлажнение и высыхание, замораживание и оттаивание, выветривание), механической (рыхление, измельчение с удалением камней, дозирование с добавками, тонкое измельчение) и комбинированной, с физико-химической обработкой (пароувлажнением, вакуумированием), введением специальных добавок (пластифицирующих, выгорающих) и оттаиванием обработанной массы в шихтозапасниках или механизированных силосах.

Естественный способ обработки сырья требует много времени, больших площадей и не обеспечивает полного удаления каменистых включений. Механический способ является более эффективным. Для получения легкоукладной гомогенной массы, он предусматривает использование разного технологического оборудования, в зависимости от свойств сырья и вида изделий: для грубого помола глинистого сырья - дезинтеграторные валы, для удаления камней - винтовые валы, для измельчения - дробилки валковые, зубчатые, дискозубчатые, глинорезки (стругалки); для подготовки добавок - дробилки щековые, молотковые, комбинированные; для тонкого измельчения глинистого сырья - бегуны сухого или мокрого помола; для помола сухой глины, шамота, дегидратованной глины - шаровые мельницы; для просеивания измельченных материалов - сито-бурат, инерционные грохоты и тому подобное.

Переработку сырьевой массы и формирование изделий в зависимости от свойств исходного сырья и вида изделий, которые изготавливаются, выполняют пластичным, полусухим или шликерным (мокрым) способами.

Пластичное формирование применяют тогда, когда глинистое сырье влажное, рыхлое, хорошо размокает в воде, образуя однородную массу.

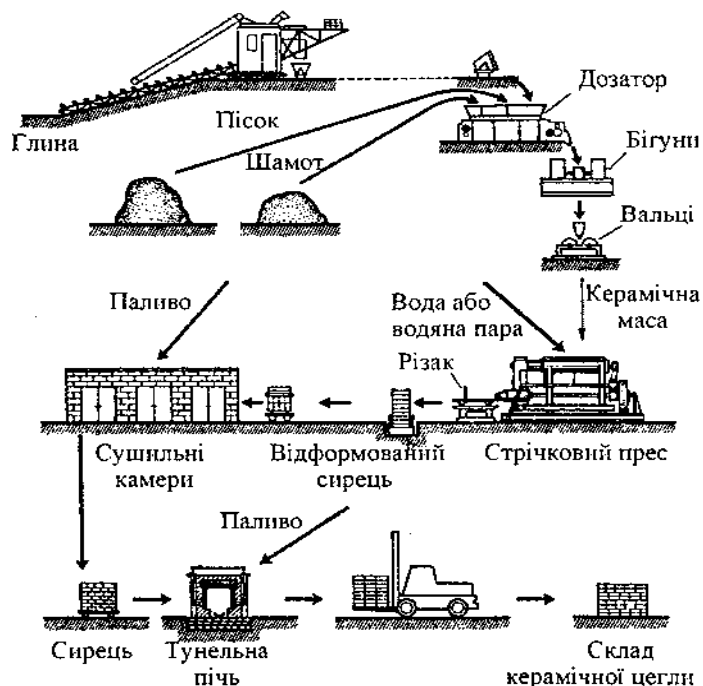
Для этого используют легкоплавкие средне - и умереннопластические глины, содержащие 40...50% песка.

Основным условием применения пластического способа является использование вязких масс, в которых силы внутреннего сцепления (когезия) преобладают над силами сцепления с поверхностью формовочного оборудования (адгезия).

Методом пластического формования изготавливают керамический кирпич и камни, черепицу, трубы и некоторые виды керамических плиток.

Применяя пластический способ формования изделий (рис.8), глину измельчают на валах грубого и тонкого помола. Для более эффективного измельчения, ее еще поддают переработке в бегунах. После измельчения глину подают в глиносмеситель, где она перемешивается с добавками к однородной пластической массе и увлажняется до влажности 20...25%. Такой способ предусматривает формование изделий на ленточных прессах, которые могут быть вакуумными и безвакуумными.

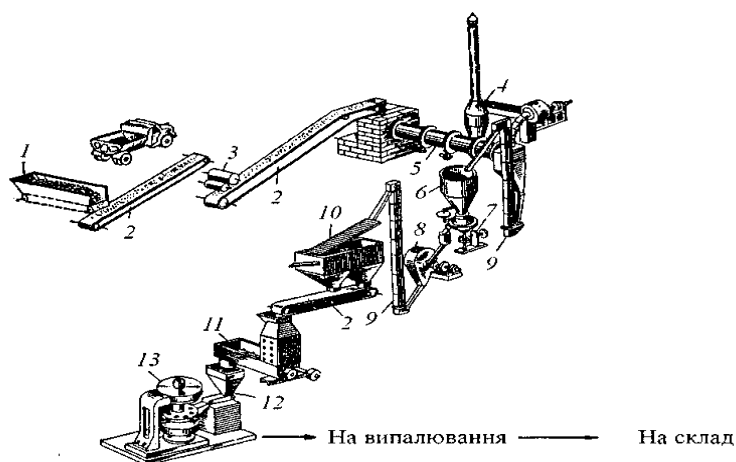
С помощью вакуумирования из керамической массы удаляется воздух, что приводит к увеличению плотности (на 6...8%) и прочности (в 1,5 раза) сырца; прочность выжженных изделий увеличивается на 30...40%, средняя плотность – на 3-4 %, а водопоглощение уменьшается на 10.....15%. Целесообразно вакуумирование проводить с пароувлажнением массы для предотвращения образования трещин при сушке отформованных изделий.



**Рис.8. Технологическая схема изготовления керамического кирпича пластическим способом**

**Полусухой способ** предусматривает прессование изделий из сыпучих порошковых масс (пресс-порошка) влажностью 8...12% под большим давлением (15...40 МПа). Разновидностью его является сухой способ, что предусматривает прессование керамических порошков влажностью 2...8%.

При полусухом способе производства (рис. 9) глину сначала измельчают и подсушивают до влажности 6...8%, потом измельчают в дезинтеграторах, просеивают, увлажняют порошок паром до нужной влажности и тщательным образом перемешивают в глиносмесителе.



**Рис.9. Технологическая схема производства кирпича методом полусухого прессования:**

1 - ящичковый питатель; 2 - ленточные конвейеры; 3 - дезинтеграторные валы; 4 - циклон; 5 - сушильный барабан; 6 - бункер; 7 - тарельчатый питатель; 8 - дезинтегратор; 9 - элеваторы; 10 - грохот; 11 - глиносмеситель с пароувлажнителем; 12 - питатель; 13 - пресс

Полусухое прессование широко применяется при изготовлении плоских тонкостенных изделий (плиток), а также для производства керамического кирпича и полых камней.

Прессование изделий происходит в индивидуальных прес-формах на прессах разных конструкций: коленно-рычажных, ротационных и гидравлических; оно может быть одно - или двусторонним.

К недостаткам полусухого прессования нужно отнести необходимость использования более сложного прессового оборудования, повышенной температуры выжигания изделий и высококвалифицированного обслуживания. Кроме того, кирпич полусухого прессования имеет меньшую морозоустойчивость.

Шликерный (мокрый) способ заключается в том, что исходные материалы измельчают вместе с водой в шаровой мельнице при влажности 45...60% до получения однородной массы - шликера. В зависимости от способа формирования изделий шликер используют как непосредственно для изделий, которые получают методом литья, так и после его сушки к порошковидному состоянию в распыляющих сушилках - для изготовления изделий полусухим прессованием. Методом литья изготавливают изделия сложной конфигурации и тонкостенные, например, санитарно-технические, мозаичные плитки; полусухим прессованием из порошка - облицовочные плитки и плитки для пола.

Промежуточной операцией технологического процесса производства керамических изделий является сушка. Она необходима для приданию сырью механической прочности и подготовки его к выжиганию. Это достаточно ответственный этап технологии, поскольку именно здесь возникают трещины, которые окончательно оказываются при следующем выжигании. Сырьё, отформованное пластическим способом, высушивают до влажности 6... 10%, а в случае использования полусухого прессования окончательная влажность после сушки зависит от вида изделия: для кирпича - 4...6%, для плитки - до 1%. Сушка сырья полусухого прессования может происходить одновременно с процессом выжигания в печи. Самым сложным и самым длительным является процесс сушки сырья сложной конфигурации, полученного из шликерной массы литьем в гипсовые формы (санитарно-технические изделия).

Сушка - это сложный теплофизический процесс, связанный с тепло - и массообменом между влажным сырьём и внешней средой. В процессе сушки происходит перемещение влаги с середины до поверхности сырья (внутренняя диффузия) и испарения влаги из поверхности сырья во внешнюю среду (внешняя диффузия).

Сушка отформованных изделий может быть естественной (на открытом воздухе) и искусственной (в специальных устройствах-сушилках). Процесс естественной сушки используется редко, поскольку имеет ряд недостатков, в том числе является достаточно длительным (до 20-ти суток), существенно зависит от климатических условий, нуждается в значительных сушильных площадях и рабочей силе для обслуживания сушилок, тяжело поддается регулированию, имеет ограниченные возможности относительно механизации производственных операций.

Искусственная сушка происходит в сушилках периодического или непрерывного действия.

К сушилкам периодического действия относят камерные сушилки. Это камеры длиной 10...18 м, в ширину 0,9...1,45 м, высотой 2,1...3,0 м; обычно их группируют в блоки от 20 к 48 шт.

Камерные сушилки работают периодически - циклами: загрузка, сушка, разгрузка.

Режим сушки в камерных сушилках характеризуется такими параметрами: температура теплоносителя в центральном канале 130...170°C, отработанного теплоносителя - 40...50°C, длительность сушки 30...72 час. Как теплоноситель используют горячий воздух из зоны охлаждения печей или калориферов.

Камерные сушилки используют для сушки керамического кирпича, санитарно-технических изделий, канализационных труб.

К сушилкам непрерывного действия относят тоннельные, которые работают по принципу противотечения: навстречу сырцу движется теплоноситель, что поступает в тоннель из разгрузочного конца печи.

Тоннельная сушилка - это камера длиной 24...26 м, высотой 1,4...1,8 м, в ширину 1,0...3,6 м.

Тоннели объединяют в блоки по 4...20 шт. с общими каналами для подачи и отбора теплоносителя. Сырец поступает к тоннельным сушилкам на вагонетках (сушильных или печных), которые передвигаются в тоннелях по рельсовым путям с помощью передвижных или канатных толкателей.

Температура теплоносителя, что подается в центральный подводной канал, составляет 100...140°C, а при удалении из сушилки - 30...45°C (при относительной влажности 75...95%); длительность сушки 12...50 час. Как теплоноситель используют печные или топочные газы. Тоннельные сушки используют для сушки керамического кирпича и камней, облицовочных плиток, санитарно-технических изделий, дренажных и канализационных труб.

К сушилкам непрерывного действия относят также конвейерные сушки, которые широко применяют для сушки керамических плиток разных видов. Они могут быть радиационными или радиационно-конвективными с однорядной сушкой на роликовых, сетчатых или цепных конвейерах, что позволяет сократить срок сушки до 7...9 мин. Использование таких сушилок в комплексе с шликерным способом подготовки керамической массы, получениям пресс-порошка в башенных распыляющих сушилках и однорядным выжиганием в щелевых печах дало возможность создать поточно-автоматизированные конвейерные линии для изготовления плиток с разными источниками теплоснабжения и разной производительностью.

Конвейерные сушки используют также для сушки изделий стенной керамики, санитарно-технических изделий и труб.

Выжигание керамических изделий является завершающей стадией изготовления керамических изделий, при которой формируются их основные свойства: плотность, прочность, водо -, кислото - и морозоустойчивость и тому подобное. Режиму выжигания нужно уделять особенное внимание, поскольку дефекты изделий, которые возникают на этой стадии, являются необратимыми.

Во время выжигания происходят тепло - и массообменные процессы, а также сложные физико-химические процессы между составляющими керамической массы.

При нагревании изделий из сырца до 200°C удаляется свободная гигроскопическая влага и происходит досушивание изделий. Этот процесс характеризуется поглощением теплоты, а пар, что образуется при этом, при быстром подъеме температуры может разорвать изделие. При последующем нагревании до 300...400°C происходит выгорание органических вещества и удаления летучих соединений.

Глинистые минералы при температуре 450...700°C дегидратируются (удаляется кристаллизационная вода), которая сопровождается усадкой материала и потери пластичности.

В интервале температур 700...1000°C образуется в небольшом количестве жидкая фаза, в которой частично растворяются некоторые



составляющие глинистого сырья и начинается синтез искусственных материалов.

Процесс выжигания разделяют условно на три этапа: нагревание до максимальной температуры, изотермическая выдержка и охлаждение. Режим выжигания для каждого температурного интервала и вида изделий определяют расчетно-экспериментальным методом.

Для выжигания керамических изделий используют специальные печи: кольцевые, тоннельные, щелевые, роликовые и тому подобное. По принципу действия печи могут быть непрерывного и периодического действия. В печах периодического действия (кольцевых) процесс выжигания происходит периодически: обжигательную камеру загружают сырцом, подогревают, потом выжигают сырец, охлаждают и выгружают готовые изделия. Такие печи используют только на небольших предприятиях для изготовления малотиражных или уникальных изделий, химически стойкой аппаратуры и тому подобное. В этих печах топлива тратится в 2...3 раза больше, чем в печах постоянного действия, где все процессы выжигания происходят одновременно, не останавливаясь в период загрузки и разгрузки.

Наибольшее распространение получили тоннельные печи непрерывного действия, в которых зона выжигания неподвижная, а отформованные изделия передвигаются на вагонетках, ленточных или роликовых конвейерах навстречу теплоносителю. Тоннельные печи бывают одно- и многоканальными, щелевыми. Нагревание изделий может происходить непосредственно открытым пламенем, с помощью экранов или электрическим током.

Тоннельная печь имеет три зоны: подогревание, выжигание и охлаждение. Режим выжигания в тоннельных печах назначают в зависимости от вида, формы, размеров изделий и вида теплоносителя.

Использование тоннельной печи дает возможность механизировать и автоматизировать процесс выжигания, обеспечивает лучшие санитарно-гигиенические условия труда и высокую производительность сравнительно с кольцевыми печами.

Для изготовления керамических изделий из малочувствительного к сушке глинистого сырья, лучше применять тепловые установки, в которых происходит сушка и выжигание в одном агрегате. Это позволяет снизить трудовые расходы на 35%, расходы топлива на 20...25%, себестоимость изделий на 25...30%, полностью автоматизировать производство.

### **5.3. Технология производства и источники загрязнения вод.**

#### **Производство канализационных керамических труб.**

Сырьем для изготовления канализационных труб служат пластические, тугоплавкие или огнеупорные глины, не содержащие серный колчедан и гипс.

Исходная шихта состоит из предварительно просеянной и подсушенной до 10%-ной влажности размолотой глины - 70-75%, отощающих материалов (бой труб, шамот) - 25 -30%.

Шихту увлажняют до 18-19% и затем подают в пресс, из которого выходит пластическая масса. Сформированные из этой массы трубы сушатся в специальных сушилках и покрываются глазурью. Глазурованные трубы подвергаются обжигу.

На заводах, производящих канализационные трубы, сточные воды образуются при охлаждении компрессоров и подшипников, гидравлическом испытании труб, очистке воздуха вентиляционных и аспирационных скрубберов, мойке полов и оборудования, а также при охлаждении дымососов, котельных, продувке котлов и водоподготовке.

Количество сточных вод от основных и вспомогательных операций приведено в табл. 9.

**Таблица 9.**  
**Удельное количество сточных вод в м<sup>3</sup> на 1 т. труб**

Технологическая операция	Незагрязнённые сточные воды	Загрязнённые сточные воды
Охлаждение компрессоров и подшипников механизмов...	2	-
Гидравлическое испытание труб...	0,05	-
Орошение скрубберов аспирации и вентиляции...	-	1
Мойка оборудования и полов...	-	0,15
Охлаждение дымососов, химводоочистка, продувка котлов...	0,3	-

Сточные воды производства керамических труб загрязнены в основном минеральными примесями в виде частиц песка и глины. Содержание твердых механических примесей в общем стоке колеблется в пределах 3-6 г/л.

Незагрязненные сточные воды от охлаждения компрессоров и подшипников после охлаждения на градирнях, используются в системе оборотного водоснабжения. Загрязненные сточные воды от орошения вентиляционных, и аспирационных скрубберов подвергаются предварительной очистке, после чего также используются в системах оборотного водоснабжения.

**Таблица 10.**  
**Удельное количество сточных вод в м<sup>3</sup> на 100 м<sup>2</sup> плиток**

Технологическая операция	Незагрязнённые сточные воды	Загрязнённые сточные воды
Мойка полевого шпата и добавок....	---	1,20
Прессование.....*	---	20,0
Мойка фильтр-полотен.....*	---	3,00
Мойка полов и оборудования.....	---	0,7
Охлаждение компрессоров и механизмов...	16,5	---
Орошение вентиляционных скрубберов...	---	30,0
Охлажд. дымососов, химводоочистка, прод.котлов...	2,40	---
Орошение скрубберов распылительных сушилок...	---	50,0

\* - При применении распылительных сушилок сточные воды не образуются.

## **Производство керамзита**

Сырьем для производства керамзита служит легкоплавкая глина. В зависимости от свойств исходного сырья применяются два способа подготовки керамзита: сухой - при плотных, однородных по составу глинах и пластических - при неоднородных по качеству, влажных глинах.

Подготовленное тем или иным способом сырье превращают в гранулы, которые подвергают обжигу во вращающихся печах, при температуре 1150-1250°C. После охлаждения гранулы рассеиваются на фракции крупностью 5-40 мм. Более крупные куски дробятся до требуемого размера.

Керамзит используется в качестве заполнителя при изготовлении специальных бетонов, а также в качестве грузочного материала для биофильтров.

На заводах по производству керамзита сточные воды поступают в летний период от охлаждения опор подшипников, обжигающей печи дымососов и сушильного барабана, из котельной от охлаждения дымососов и продувки котлов. В зимнее время вода на производственные нужды практически не расходуется. Количество сточных вод невелико 0,2 - 0,3 м<sup>3</sup> на 1 т. готовой продукции.

Сточные воды практически не загрязнены. Они могут использоваться в оборотных системах водоснабжения завода, сбрасываться в производственную ливневую канализацию или отводятся в водоем.

## **Производство керамических плиток**

Керамические плитки изготавливаются для облицовки фасадов, покрытия полов и облицовки стен. Основным исходным сырьем во всех случаях служит глина. Плитки для облицовки фасадов изготавливают из глины с добавками шамота.

Пластическую массу обрабатывают на массомялках или на бегунках мокрого помола и формуют из нее изделия на ленточных вакуум-прессах. Обжиг плиток производится в туннельных печах при температуре 950-1150°C.

Плитки для полов изготавливают из пластических глин или смеси глины с отошающими добавками. При температуре спекания глин или массе выше 1250 °C к ним добавляют полевой шпат или пегматит в смеси тонко измельченным кварцевым песком.

Когда глина достаточно однородна и не требует добавок, ее сначала дробят, а затем подсушивают в сушильных барабанах до влажности 8-9%. Высушенную глину размалывают до диаметра зерен не более 1 мм и прессуют.

В случаях применения добавок глину дробят и разбалтывают затем в пропеллерной машине с предварительно измельченным полевым шпатом и кварцевым песком. Смешанная масса подается на фильтр-пресс и затем просушивается до влажности 8-9%. Полученные брикеты размалывают на бегунах и направляют на прессование. Отпрессованные плитки подсушивают

до влажности 2% и обжигают в туннельных, газокамерных или периодических печах.

На заводах по изготовлению керамических плиток сточные воды образуются от мойки полевого шпата и добавок к нему, фильтр прессы и мойки фильтр-полотен, мойке полов и оборудования, охлаждения компрессоров и подшипников механизмов, орошения вентиляционных скрубберов, а также от охлаждения дымососов котельной, химводоочистки и продувке котлов.

Количество сточных вод образующихся при различных производственных операциях, приведено в табл.10

Стоки от охлаждения компрессоров и механизмов, а также стоки от орошения вентиляционных скрубберов и скрубберов распылительных сушилок могут быть использованы в системах оборотного водоснабжения. Загрязненные производственные сточные воды на заводах керамических плиток содержат минеральные примеси в виде измельченного песка, глинистых частиц и в незначительном количестве отошающими добавками. Концентрация этих примесей зависит от местных условий: исходного сырья, повторного использования отработанной воды, эксплуатации оборудования. Ориентировочные данные приведены в табл.11

**Таблица 11. Концентрация минеральных загрязнений в стоках от производства керамических плиток.**

Технологическая операция	Концентрация в г/л
Мойка полов и оборудования	3-8
Мойка полевого шпата и добавок	2-6
Прессование	8-12
Мойка фильтр-полотен	4-6
Орошение вентиляционных скрубберов	3-9
Орошение скрубберов распылительных сушилок	10-17
Общий сток	5-9

### **Производство керамических блоков**

Керамические блоки изготавливаются из легкоплавких глин с добавками песка и шамот. Глину и добавки подвергают дроблению, размолу и смешиванию в специальных смесителях, куда поступает пар или вода. Полученная смесь подвергается сначала мокрому, а затем тонкому помолу. Формирование блоков производится на ленточных прессах. Сырые блоки сушатся горячим воздухом до влажности 7-9%, а затем подвергаются обжигу в кольцевых или туннельных печах при температуре 900-1050°C.

На заводах по производству керамических блоков сточные воды образуются от мойки полов и оборудования, вентиляционных и аспирационных скрубберов, охлаждения дымососов, продувки котлов, а также от химводоочистки. Удельные количества сточных вод в м<sup>3</sup> на 100 м<sup>3</sup> блоков приведены в таблице 12.

Сточные воды от производства керамических блоков загрязнены твердыми минеральными примесями в виде песка и глинистых частиц.

Концентрация взвешенных веществ в общем стоке колеблется в пределах 2-6 г/л.

При выборе способов и технологического оборудования для очистки сточных вод от примесей необходимо учитывать, что эффективность и надёжность работы любого очистного устройства обеспечивается в определённом диапазоне значений концентраций примесей и расходов сточной воды. В некоторых технологических процессах имеет место кратковременные изменения расхода и состава сточных вод, что может существенно уменьшить эффективность работы очистных устройств.

Для обеспечения нормальной эксплуатации очистных сооружений, в указанных случаях, необходимо усреднение концентрации примесей или расхода сточной воды, а в некоторых случаях и по обоим показателям одновременно. С этой целью на входе в очистные сооружения устанавливают усреднители, выбор и расчёт которых определяется характеристиками сбросов.

Для подбора оптимального варианта очистных сооружений с целью снижения техногенной нагрузки на окружающую среду, производится расчёт их параметров, исходя из свойств и концентраций загрязнителей, расхода сточных вод (интенсивности газопылевых выбросов).

**Таблица 12**

**Удельные количества сточных вод в м<sup>2</sup> на 1 м<sup>3</sup> блоков.**

Технологическая операция	Незагрязнённые сточные воды	Загрязнённые сточные воды
Мойка полов и оборудования.....	---	0,06
Орошение вентиляционных и аспирац. скрубберов...	---	0,80
Охлажд. дымососов, химводоочистка, прод.котлов...	0,02	---

#### **5.4. Загрязнение и очистка воздуха на предприятиях.**

Технологический процесс производства строительной керамики и фаянса заключается в добыче глины в карьерах, переработке и смешивания её с различными добавками. Добываемая в карьере глина грузится на автомобильный или ж/д транспорт и доставляется на завод. Глина, доставленная на завод, подвергается обработке, в результате которой разрушается естественная структура и придаётся ей однородность. Отдозированная ящичным подавателем глина направляется ленточным конвейером в камневыделительные вальцы, где очищается от грубых щебёночных включений, а затем поступает на вальцы тонкого помола. Здесь она проходит между вращающимися навстречу друг другу вальцами с зазором около 0,8 мм, измельчается и направляется в двухвальную глиномешалку, в которой смешивается с различными добавками и увлажняется до заданной влажности. Затем кирпич формуют на ленточных прессах, затем производится сушка. И на завершающем этапе производится обжиг керамики.

Основным загрязняющим атмосферу веществом, выделяющимся при производстве строительной керамики и фаянса, является пыль, содержащая 70% двуокиси кремния. Интенсивным пылеобразованием сопровождаются также процессы дробления, сортировки, транспортировки и отгрузки готовой продукции. Для борьбы с пылевыведениями при производстве керамики и фаянса используются гидрообеспыливание и аспирация.

Выбросы пыли от технологического оборудования могут быть организованными и неорганизованными. К организованным источникам выбросов относятся аспирационные системы, оборудованные пылеочистными установками, к неорганизованным - выбросы, поступающие в воздушную среду в виде направленных потоков пыли, в результате нарушения герметичности или отсутствия укрытий технологического оборудования

Для очистки запыленного воздуха в качестве пылеулавливающего оборудования используются циклоны, рукавные матерчатые фильтры, циклоны - промыватели. Очистка запыленного воздуха может быть одно - или двухступенчатой. Очистка аспирационного воздуха в сухих циклонах типа ЦН - 15 НИИОГАЗ осуществляется по одноступенчатой схеме.

Максимально разовые выбросы пыли, удаляемые аспирационными установками, определяются по формуле:

$$G_{\text{п}} = 2.78 \cdot 10^{-4} Q C^1 (1 - 10^2 \text{птА}), \text{ г/с},$$

Где: Q - производительность аспирационной установки, определяемая по количеству удаляемого воздуха от технологического оборудования, м<sup>3</sup>/ч;

C<sup>1</sup> - концентрация пыли в отходящем воздухе, г/ м<sup>3</sup>;

пт - эффективность очистной установки, %.

Валовые выбросы пыли определяются по формуле:

$$M_{\text{п}} = 10^{-6} \cdot Q (C^1 n_1 + C^2 n_2) (1 - 10^{-2} \text{птА}), \text{ т/год},$$

Где: C<sup>2</sup> - концентрация пыли в отходящем воздухе с учетом гидрообеспыливания, г/м<sup>3</sup>;

n<sub>1</sub> - число часов работы в году установки без применения гидрообеспыливания, ч/год;

n<sub>2</sub> - число часов работы в году установки с применением гидрообеспыливания, ч/год;

A - коэффициент, учитывающий исправную работу очистных устройств.

Валовые выбросы (т/год) от неорганизованных источников определяются по числу часов работы оборудования в год. Источниками неорганизованных выбросов являются узлы пересыпки материала, перевалочные работы на складе, хранилища пылящих материалов, узлы загрузки продукции в неспециализированный транспорт навалом, карьерный транспорт и механизмы, дороги с покрытием и без покрытия, погрузочно-разгрузочные работы.

Пылевыведение со складов характеризуется уравнением:

$$M = A + B = 277,78 K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 K_6 K_7 T B^1 + K_3 K_4 K_5 K_6 K_7 C П, \text{ г/с}$$

Где: А - выбросы при переработке (ссыпка, перевалка, перемещение материала), г/с;

В - выбросы при статистическом хранении материалов, г/с

$K_1$  - весовая доля пылевой фракции в материале;

$K_2$  - доля пыли (от всей массы пыли), переходящая в аэрозоль;

$K_3$  - коэффициент, учитывающий местные метеоусловия;

$K_4$  - коэффициент, учитывающий местные условия, степень защищенности узла от внешних воздействий и условия пылеобразования;

$K_5$  - коэффициент, учитывающий влажность материала;

$K_6$  - коэффициент, учитывающий профиль поверхности складываемого материала и определяемый как соотношение (значение колеблется в пределах 1,3-1,6, в зависимости от крупности материала);

П - поверхность пыления в плане,  $m^2$ ;

С - унос пыли с одного  $m^2$  фактической поверхности,  $г/(m^2 \cdot с)$ ;

Т - суммарное количество перерабатываемого материала, т/ч;

$B^1$  - коэффициент, учитывающий высоту пересыпки,

Интенсивными неорганизованными источниками пылеобразования являются: пересыпка материала, погрузка материала в открытые вагоны или полувагоны, загрузка материала в открытые вагоны грейфером в бункер, разгрузка самосвала в бункер. Пылевыведения от всех этих источников могут быть рассчитаны по формуле:

$$M = 277,78 K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 K_7 T B^1, \text{ г/с},$$

Где:  $K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 K_7$  - коэффициенты, те же, что в предыдущей формуле;

Т - производительность узла пересыпки, т/ч;

$B^1$  - коэффициент, учитывающий высоту пересыпки.

Карьеры можно рассматривать как единые источники равномерно распределённых по площади выбросов от автотранспортных, выемочно-погрузочных работ.

Движение автотранспорта в карьерах обуславливает выделение пыли в результате взаимодействия колес с полотном дороги и сдува пыли с поверхности материала, гружёного в кузов машины. Общее количество пыли, выделяемое в пределах карьера, можно охарактеризовать следующим уравнением:

$$M = 2.78 \cdot 10^{-4} C_1 C_2 C_3 N L q_1 K_5 C_7 + C_4 C_5 K_5 q^1 n \cdot n, \text{ г/с},$$

Где:  $C_1$  коэффициент, учитывающий среднюю грузоподъёмность единицы автотранспорта и определяющийся как частное от деления суммарной грузоподъёмности всех действующих в карьере машин на число «n» при условии, что максимальная и минимальная грузоподъёмности отличаются не более, чем в 2 раза;

$C_2$  - коэффициент, учитывающий среднюю скорость передвижения транспорта в карьере;

$C_3$  - коэффициент, учитывающий состояние дорог;

$C_4$  - коэффициент, учитывающий профиль поверхности материала на платформе, на среднюю площадь платформы;

$C_5$  - коэффициент, учитывающий скорость обдува материала, которая определяется как геометрическая сумма скорости ветра и обратного вектора средней скорости движения транспорта;

$K_5$  - коэффициент, учитывающий влажность поверхностного слоя;

$N$  - число ходок всего транспорта в час;

$L$  - средняя протяженность одной ходки в пределах карьера, км;

$q_1$  - пылевыведение в атмосферу на 1 км пробега;

$q_2$  - пылевыведение с единицы фактической поверхности материала на платформе;

$n$  - число автомашин, работающих в карьере;

$C_7 = 0,01$  - коэффициент, учитывающий долю пыли, уносимой в атмосферу.

**Таблица 13. Характеристика выбросов пыли от основного технологического оборудования**

Технологическое оборудование	Ориентировочный объём аспирируемого воздуха, м <sup>3</sup> /ч	Характер пыли	Концентрация, г/м <sup>3</sup>	Медианный диаметр, мкм	Среднеквадратичное отклонение	Плотность частиц, г/см <sup>3</sup>
Барабаны очистные: галтовочные дробетные	10-20 4-15	Мех. окалина	0,8-0,5 1-3	10-15, 10-30	2,2-2,5 2,0-2,5	3,7-5,0 3,7-5,0
Камеры очистные дробетные (до 3 т/ч)	10-15		2-2,5	30-40	2,1-2,3	3,7-5,0
Шлифовальные станки	0,5-3,0	Абразивная металлическая	0,3-0,8	10,5	2,7-3,3	3,4-4,8
Полировальные станки	—	Текстильная, от полировальной пасты	0,1-0,3	25-100	1,6-3,6	1,5
Кранцевальные станки	3-6	Мех. окалина	0,1-0,3	В зависимости от материала обрабатываемого и материала щёток		

*Кожна людина має право на безпечне для життя і здоров'я довкілля та відшкодування завданої порушенням цього права шкоди.*  
*Кожному гарантується право вільного доступу до інформації про стан довкілля, про якість харчових продуктів і предметів побуту, а також право на її поширення.*  
*Така інформація ніким не може бути засекречена*  
**Стаття 50. Конституції України.**



## Глава 6. Загрязнение окружающей среды при производстве санитарно-технических изделий из фаянса.

Сырьем для производства санитарно-технических изделий из фаянса служат применяемые в различных композициях пластичные глины, каолин, кварцевый песок, полевой шпат, пегматит, нефелиновый сиенит, магнезит и доломит; при выработке крупных изделий добавляется шамот.

Исходное сырье подвергается грубому и тонкому помолу и тщательно смешивается. Подготовленная масса (шлипер) вакуумируется для удаления воздуха, после чего разливается в гипсовые формы; после твердения изделия сушатся горячим воздухом до остаточной влажности 1-2%. Затем изделия глазуруются и обжигаются в печах при температуре 1200—1400°С.

Производственные сточные воды поступают из основных и вспомогательных цехов. Они образуются при мойке полевого шпата, мойке полов и оборудования, охлаждении компрессоров и механизмов, охлаждении дымососов и продувке котлов, орошении скрубберов вентиляционных систем, испытании изделий, а также при водоподготовке и эксплуатации вакуумной установки.

Удельные количества сточных вод на 1 т готовых изделий приведены в таблице 14.

**Таблица 14.**

### Удельные количества сточных вод на 1 т санитарно-технических изделий из фаянса.

Технологическая операция	Сточные воды в м <sup>3</sup>	
	Незагрязнённые	Загрязнённые
Мойка полевого шпата	---	0,4
Гранулирование массы	---	0,4
Мойка полов и оборудования	---	0,8
Испытание изделий	0,25	---
Охлаждение компрессоров и механизмов	2,0	---
Эксплуатация вакуум-установки	1,7	---
Орошение скрубберов вентиляционных систем	---	3,4
Охлаждение дымососов, котельной. Химводоочистка. Продувка котла	3,0	---

Данные о концентрации этих загрязнений приведены в таблице 15.

Таблица 15.

**Концентрация загрязнений в стоках от производства изделий из фаянса.**

Технологическая операция	Концентрация в г/л
Мойка оборудования и полов	3-8
Мойка полевого шпата	2-6
Грануляция массы	0.4-0.8 3-9
Орошение вентиляционных скрубберов	3-9
Общий сток	4-8.6

На предприятиях керамической промышленности для очистки небольших количеств загрязненных производственных сточных вод устраиваются локальные очистные сооружения, располагаемые у цехов.

На этих сооружениях сточные воды подвергаются отстаиванию с коагуляцией, а затем доочистке на напорных фильтрах. Очищенные сточные воды могут быть использованы в системах оборотного водоснабжения вентиляционных скрубберов, пылеотделителей и распылительных сушилок. В большинстве случаев в качестве коагулянтов применяют сернокислый алюминий (доза-100мг/л, считая на безводный продукт) и полиакриламид (доза -1 мг/л), в последнее время другие коагулянты и флокулянты (магнафлоки и пр.) Вследствие значительных колебаний концентрации сточных вод дозы коагулянтов уточняются в процессе эксплуатации очистных сооружений.

Для очистки сточных вод применяют горизонтальные отстойники или пруды-осветлители. Отстойники рассчитывают на задержание частиц примесей, имеющих скорость осаждения 0,2 мм/сек.

Расчетная скорость движения воды в отстойнике при этом не должна превышать 5 мм /сек. Глубина проточной части отстойника принимается с учетом местных условий; обычно она равна 1,5—2 м. Максимальная высота слоя осадка в отстойнике - 0,5-0,6 м, а высота нейтрального слоя - 0.4 м.

Объем выпавшего осадка и его влажность зависят от многих факторов: концентрации сточных вод и дозы коагулянта, продолжительности отстаивания, периодичности удаления осадка из отстойника, способа удаления осадка и т.д. Поэтому влажность осадка колеблется в широких пределах: от 85 до 90%; объем его 0,5 - 3% объема очищенной воды.

Удаляемый из отстойников осадок или используется в производстве, или направляется на обезвоживающие площадки.

Когда требуется высокая степень очистки сточных вод после отстаивания, их подвергают фильтрации. Для этой цели применяют напорные фильтры,

загруженные кварцевым песком с размерами зерен 1,8-2 мм.

Фильтрация производится со скоростью 8 м<sup>3</sup>/ч. Регенерация фильтров достигается путем их промывки в течение 7 - 8 мин, интенсивность промывки - 15 л/сек на 1 м<sup>2</sup>.

Продолжительность фильтроцикла зависит от концентрации фильтруемой воды и скорости фильтрации, в среднем он равен 8 ч.

Осветленная вода используется в системах оборотного водоснабжения предприятия (рис 10).

Средняя концентрация взвешенных веществ в промывной воде 2,5 г/л. Эта вода возвращается в отстойник, что должно учитываться как дополнительный расход при расчете.

Реагентное хозяйство и подсушивающие площадки для осадка из горизонтальных отстойников проектируются по СНиП.

В результате двухступенчатой очистки сточных вод из них удаляется до 98 - 98,5% взвешенных веществ; остаточное их количество колеблется в пределах 50 – 150 мг/л.

Когда сточная вода не используется повторно, вместо отстойников применяют пруды-осветлители. Пруды рассчитывают на продолжительность отстаивания 2 – 3 суток, средняя глубина их обычно 2 – 3 м.

## **Глава 7.**

### **Предприятия по производству гипса и гипсовых изделий.**

#### **Производство гипса.**

Строительный гипс готовится из природного гипсового камня. Поступающий из гипсоработок гипсовый камень подвергается дроблению и последующему измельчению в муку в шахтных мельницах. Все технологические операции – безводные. Но при этом выделяется значительное количество пыли из дробилок и мельниц (500-1000 г/м<sup>3</sup>). На гипсоварочных заводах образуется пыль от варочных котлов – 100-150 г/м<sup>3</sup>. Потери гипса при этом достигают 25 % от перерабатываемого сырья, а воздух загрязняется в радиусе – 1-1,5 км. Очистка воздуха осуществляется циклонами и рукавными фильтрами.

На гипсоварочных заводах образуются незагрязненные производственные сточные воды от охлаждения компрессоров в количестве 0,45 м<sup>3</sup> на 1т гипса и от охлаждения подшипников шахтных мельниц и других механизмов – 0,1м<sup>3</sup> на 1т гипса.

Незагрязненные сточные воды используются в системах оборотного водоснабжения.

#### **Производство гипсовых панелей.**

Гипсовые панели изготавливают из гипса и наполнителей (древесные опилки, горный песок, керамзит).

Основные технологические операции в процессе изготовления панелей: приготовление деревянных каркасов, дозирование компонентов массы и их смешение, формование массы на прокатном станке, пропаривание и сушка.

Загрязнение воздуха происходит при выгрузке гипса и наполнителей, их дозирование из бункеров, смешение, а также через различные неплотности.

На заводах гипсовых панелей образуются два вида производственных стоков:

- незагрязнённые сточные воды от охлаждения компрессоров и подшипников вибросмесителя.

- загрязненные сточные воды от промывки прокатного стана, другого оборудования и полов.

Удельный расход сточных вод ( в м<sup>3</sup> на 1000 м<sup>2</sup> гипсовых панелей):

- на охлаждение компрессоров – 252;

- на охлаждение подшипников вибросмесителя и других механизмов – 3,6;

- на промывку оборудования – 1,7.

Охлаждающие воды практически не загрязнены. Сточные воды от промывки оборудования содержат частицы гипсобетона и схватившегося цемента.

Очистку сточных вод от промывки оборудования производят путём отстаивания. В этих целях обычно применяют горизонтальные отстойники, рассчитываемые на двухчасовое отстаивание. Глубина проточной части обычно не превышает 1,5 метра, глубина осадочной части (приямка) – 0,8 метра. В последние годы всё больше стали применять радиальные отстойники.

Удаляемый из отстойников осадок, в большинстве случаев, вывозится автоцистернами в места складирования, согласованные с органами санитарного надзора. Такое решение с осадками гипсовых предприятий представляет угрозу для загрязнения почв и подземных вод.

Незагрязненные сточные воды после охлаждения используются в системах оборотного водоснабжения предприятия.

## **Глава 8. Заводы мягкой кровли и гидроизоляционных материалов.**

На заводах мягкой кровли производят картон, рубероид и толь, на заводах изоляционных материалов – изол и пороизол.

### **8.1. Долговечность материалов на основе битумов, дегтя, смол и экологические проблемы, связанные с их использованием.**

Органические вяжущие вещества, в том числе битумные и дегтевые, нельзя считать за экологически безопасные материалы, учитывая их пожароопасность и выделение токсичных веществ во время нагревания и старения [13]. С этой точки зрения особенно опасными считается деготь, который содержит фенолы (карболовую кислоту), а также смолы.

Старение битумных и дегтевых материалов связано с протеканием окисления процессов под воздействием воздуха, теплоты, солнечного света, а особенно ультрафиолетового излучения. При действии воздуха происходит окисление и полимеризация углеводородов, в том числе ненасыщенных, с изменением их химического состава, а соответственно, и свойств. Сначала, в результате кристаллизации смол, образуются асфальтены, которые берут участие в формировании коагуляционной структуры, которая дальше (при следующей кристаллизации асфальтенов) превращается в жесткую пространственную структуру. Со временем эта структура начинает разрушаться в результате образования локальных местных перенапряжений, что и приводит к старению материала.

При действии ветра имеет место быстрое вымерзание воды, которое сопровождается ростом хрупкости и количества микропор и трещин в структуре материалов. С увеличением в составе битумов соединений, которые содержат кислород, азот и серу, стабильность материалов на его основе уменьшается. Для повышения долговечности битума к его составу вводят антиокислительные добавки (ингибиторы) или модифицируют полимерными добавками (атактический и изотактический полипропилены, стирол-бутадиен-стирольный каучук, этилен-пропилен-бутеновый каучук). Некоторое повышение долговечности битумных материалов достигается использованием минеральной, чаще сланцевой посыпки, натуральной или окрашенной в разные цвета, а также покрытием их алюминиевой или медной фольгой.

Рядом с вышеприведенными причинами старения битума, кроме окисления и полимеризации, также нужно выделить синерезис и эмульгирование.

Синерезис - это самозагустение битумных масс, в результате структурных превращений, что происходит под воздействием сил притяжения и нагрузки. С битума начинает постепенно выделяться жидкая фаза (масла и смолы), которая потом либо сорбируется минеральными компонентами, либо выступает на поверхности в виде «масляных» пятен. В первом случае имеет место некоторое укрепление покрытия и повышения его жесткости, а во втором - в верхних слоях покрытия появляются пластические деформации.

Эмульгирование связано с наличием в компонентах смеси поверхностно-активных веществ или примесей глины и извести. Частичный переход битума в эмульгированное состояние, приводит к снижению адгезионных свойств и некоторого расслоения материала.

Смолу каменноугольную получают в цехе улавливания коксохимических предприятий и содержит канцерогенные вещества. Производственный процесс состоит из следующих операций:

- охлаждение коксового газа в газосборнике при орошении аммиачной водой;
- разделение в сепараторе коксового газа и аммиачной воды;
- первичное охлаждение в холодильниках;
- отстой смолы от фусов и воды;
- вторичное охлаждение;
- отстой смолы от воды в хранилище.

Смола каменноугольная производится в соответствии со следующими техническими условиями с ТУ У 322-00190443-003-96.

Наименование показателя	Нормы для марок и сортов					
	А		Б		В	Г
	1 сорт	2 сорт	1 сорт	2 сорт		
1. Плотность, при 20 °С, кг/м <sup>3</sup> , не более	1200	1220	1220	1240	1220	1240
2. Массовая доля воды, %, не более	3	4	3	4	4	7
3. Массовая доля веществ, нерастворимых в толуоле в пересчете на безводную смолу, %, не более	8	11				
4. Массовая доля веществ, нерастворимых в хинолине в пересчете на безводную смолу, %, не более	3	4				
5. Условная вязкость, в пределах	-	-	-	-	2-20	20-40
6. Массовая доля нафталина в пересчете на безводную смолу, %, не более					10	
7. Массовая доля золы в пересчете на безводную смолу, %, не более	0,08	0,1	8	0,1		

**Смола из кислой смолки улавливания для дорожного строительства с  
ТУ У 322-00190443-131-98**

Наименование показателя	Норма для марки СТУ
1. Вязкость условная, с	5-20
2. Массовая доля воды, %, не более	5
3. Фракционный состав, массовая доля, %	
Отгон до 170°С, не более	1,5
Отгон до 270°С, не более	20
Отгон до 300°С, не более	30
4. РН водной вытяжки, не менее	6
5. Массовая доля веществ, растворимых в воде (в пересчёте на безводный продукт),%, не более	8

Смола каменноугольная предназначена для переработки в товарные продукты на коксохимических заводах, а также для использования в различных отраслях промышленности, в том числе: электродной, электроугольной, углеродных конструкционных материалов, строительных материалов, в дорожном строительстве.

Мягкая битумная черепица - плитка «Шанглс» (от англ. shingle - плоская кровельная плитка, известная как дранка, гонт) - листы из целлюлозного или асбестового каргона, пропитанного битумом и покрытого цветной минеральной посыпкой. Такая плитка имитирует (замещает) 3...4 штуки черепицы. Наиболее известны такие виды черепицы:

Бардолин (Франция) - волновые листы на основе стекловолокна, покрытые из обеих сторон битумом.

Катепал (Финляндия) - листы 3,8 мм, на основе стекловолокна, пропитанной окисленным битумом;

«Флоренция», «Рим» (Teglass, Италия) - листы на основе стекловолокна, пропитанной битумом, модифицированного атактическим полипропиленом (АПП). Листы покрыты минеральной посыпкой разных цветов и оттенков. Черепица является водонепроницаемой, хорошо поглощает звуковую энергию, стойка к изменению температур в интервале - 45°С...+150°С, срок эксплуатации - более 50-ти лет.

Еврошифер - волновые (гофрированные) листы, известные как гутанит, на основе целлюлозного волокна, пропитанного битумным вяжущим

веществом по технологии горячего прессования. Они имеют высокую щелочестойкость, срок эксплуатации до 50-ти лет с гарантированной водонепроницаемостью не меньше 10-ти лет.

Камни гидроизоляционные изготавливают пропиткой естественных или штучнополезных материалов (кирпича, бетона, туфа, опоки, мела, известняка) битумом, каменноугольными дегтепродуктами. Камни водонепроницаемы, поэтому их применяют для гидроизоляции в выгладке и футеровке на цементном и асфальтовом растворах.

Сборные гидроизоляционные железобетонные изделия получают пропиткой сборных железобетонных элементов (свай, плит, секций труб, тубингов и тому подобное) органическими веществами на глубину 10...15 мм. Такой способ применяют для антикоррозийной и гидроизоляционной защиты сооружений, которые испытывают механические удары и влияние минеральных веществ.

Гидроизол (ГОСТ 7415) - рулонный безпокровный гидроизоляционный материал, изготовленный пропиткой асбестового картона нефтяным битумом, предназначенный для устраивания гидроизоляционного слоя в подземных и гидротехнических сооружениях, а также для защитного антикоррозийного покрытия. Для пропитки используется доокисленный нефтяной битум марок БНК 45/180, БНД 60/90 или БНД 40/60.

Известно, что обычный битум, а также окисленный, разрушается под воздействием ультрафиолетовых лучей и становится хрупким при  $T < +5^{\circ}\text{C}$ . Применение добавок-модификаторов в виде атактического полипропилена (APP-модификатор) и стирол-бутадиен-стирольного каучука (SBS-модификатор) способствует повышению долговечности битумных материалов за счет предоставления им эластичности (гибкость при охлаждении к температурам  $-20...-30^{\circ}\text{C}$ ), коррозионной стойкости и стойкости к действию низких температур и ультрафиолетового излучения.

Учитывая отмеченное, важной тенденцией настоящего при изготовлении мягких кровельных материалов есть вытеснение недолговечных рулонных битумных материалов полимерными и полимерно-битумными, которые отличаются повышенной прочностью, эластичностью и долговечностью (15...25 лет), причем многослойный, кровельный ковер заменяется однослойным. Ниже приведены некоторые примеры таких материалов.

Еласто - и пластомерные мембраны, полученные на основе стеклоткани или полиэфирных волокон и дистиллированного битума, модифицированного SBS и APP-модификаторами, состоят из нескольких слоев.

Изол (ГОСТ 10296) - изготавливают на основе резинобитумной композиции, полученной термомеханической обработкой девулканизированной резины, нефтяного битума, минерального наполнителя, антисептика и пластификатора. Изол - эластичный, биостойкий, долговечнее рубероида почти в 2 раза.

Применяют для гидроизоляции гидротехнических сооружений, бассейнов, резервуаров, подвалов, антикоррозийной защиты трубопроводов, для покрытия дво- и трехслойных плоских кровель. Приклеивают изол холодной или горячей мастикой.

Гидробутил - это гидроизоляционный безосновный материал, который сохранил эластичность в диапазоне температур  $-60...+120^{\circ}\text{C}$ , имеет высокую адгезию к бетону и металлу. Выпускается двух марок: гидробутил-I (гидроизоляционный) и армогидробутил АК (кровельный), армированный нетканой основой. Гидробутил изготавливают из резиновых смесей на основе бутылкаучука (гидробутил-I) и бутылкаучук с хлорсульфополиэтиленом (армогидробутил АК).

Гидробутил предназначается для устраивания кровль жилищных, общественных и промышленных зданий и сооружений в северных районах, а также для устраивания кровель из двухслойных облегченных металлических панелей. Его выпускают в рулонах. Чтобы предотвратить слипание в рулоне, полотно посыпают тальком или талькомагнезитом или используют как прокладной материал полиэтиленовую пленку, целлофан, парафиновую бумагу.

Армогидробутил АГ-1 (ДСТУ Б А.1.1.1-5-94) изготавливают из резиновых смесей на основе бутылкаучука, используя сухие цинковые побелки, стеариновую кислоту, техническую серу и парафин. Армируют его нетканым клееным полотном.

Армогидробутил предназначается для устраивания кровель и гидроизоляций во время приклеивания к основе из бетона, дерева, асбестоцемента и тому подобное.

Бутизол - рулонный кровельный и гидроизоляционный материал. Поверхность основы к наклеиванию бутизола грунтуют битумнополимерной эмульсией «БПЕ».

Бутерол - предназначается для гидроизоляции сооружений и кровель. Его производят вальцево-каландровым способом из смесей на основе синтетических каучуков, термоэластопласта, пластификатора, вулканизирующих агентов и наполнителей.

Монобитеп состоит из полиэтиленовой пленки, с обеих сторон укрытой сульфитной бумагой, пропитанной мягким битумом. На обе стороны полотна наносят кровельный слой из битумно-полимерного вяжущего вещества, смешанного с минеральным наполнителем и антисептикой. Применяют для устраивания гидроизоляционного слоя панелей покрытия типа «монопанель».

Линокром (ТУ 5774-002-13157915-98) - кровельный и гидроизоляционный материал для устраивания кровель крыш с небольшим наклоном, а также, для гидроизоляции фундаментов, зданий и сооружений. Состоит из крепкой основы, которая не гниет (стеклоткани, стеклохолста или нетканого полиэфирного полотна), на которую с обеих сторон наносится битумная масса.



Унифлекс (ГОСТ 2678) - рулонный кровельный и гидроизоляционный материал, предназначенный для устраивания кровельного ковра зданий и сооружений разного назначения, гидроизоляции фундаментов, мостов, тоннелей. Имеет основу из стеклоткани, нетканого полиэфирного полотна. Из обеих сторон основы он покрывается модифицированной полимерно-битумной смесью (стирол-бутадиен, стирол-битум). Модификатором битума является искусственный каучук стирол-бутадиен-стирол (СБС).

Техноеласт (ТУ 5774-003-00287852-99) - рулонный материал предназначенный для устраивания кровель с небольшими наклонами, а также для гидроизоляции, когда ставятся повышенные требования относительно надежности и долговечности. Имеет основу, пропитанную битумом, модифицированным искусственным каучуком (СБС).

Сполиеласт (ТУ У В.2.7.-00922787.001-98) - рулонный материал, предназначенный для устраивания верхнего и нижнего слоев мягкой кровли разнообразной конфигурации, а также для гидроизоляции подземных строительных конструкций, сооружений, мостов, бассейнов и резервуаров, гаражей и тому подобное. Его относят к классу евро-рубероида. Основой является стеклополотно, стеклоткань, полиэфирная ткань, а как вяжущее вещество используют неокисленный битум с полимерными добавками СБС или АПП.

Сполипласт (ТУ У 00292787.001-98) - кровельный гидроизоляционный полимерно-битумный рулонный материал, предназначенный для устраивания верхнего и нижнего слоев мягкой кровли разной конфигурации, а также для гидроизоляции фундаментов, мостов, резервуаров и тому подобное. Он стойкий к действию высоких и низких температур, инфракрасного, ультрафиолетового и радиоактивного излучения, хранит гибкость при кладке в зимний период, водо-, паро- и влагонепроницаемый, не разрушается под действием грибков и бактерий, химически стойкий, срок эксплуатации - более 15-ти лет.

Звукотеплоизол (ТУ У В.2.7-00292787.001-98) - высокоэффективный звуко- тепло- и гидроизоляционный материал. Эффективность звукопоглощения достигается использованием многослойной упругой стеклоткани с несущим защитным слоем полимеризованного битума с наполнителем. Материал выпускается с мелкозернистой и крупнозернистой сланцевой посыпками.

Дегтевые кровельные рулонные материалы, представленные только и его разно видами, а также гидроизоляционными пленками. Изготавливают их просачиванием картона дегтем и покрытием с двух сторон битумом и посыпкой, используют для устраивания многослойных плоских кровель.

Толь (ГОСТ 10996) - рулонный материал, изготовленный пропиткой покрытия кровельного картона дегтем с посыпкой песком или минеральный крошкой. Толь с крупнозернистой посыпкой применяют для верхнего слоя плоских кровель, а толь с песчаной посыпкой - для кровель временных сооружений, гидроизоляции фундаментов и других частей сооружений.

Толь гидроизоляционную выпускают без покровного слоя и посыпки; используют как подкладочный материал для устраивания многослойных кровель а также для паро- и гидроизоляции.

Искусственные изделия выпускают в виде асфальтовых гидроизоляционных плит, камней гидроизоляционного и сборных гидроизоляционных железобетонных изделий.

Плиты изготовляют покрытиям предварительно пропитанной стеклоткани или металлической сетки, слоем горячей гидроизоляционной мастики или песчаной асфальтобетонной смеси и последующего прессования. Плиты могут быть армированы и неармированы. Их применяют для устраивания гидроизоляции и заполнения деформационных швов.

## **8.2.Производство картона и рубероида**

Кровельный картон изготовляют из бумажной макулатуры, тряпья и древесной щепы. Рубероид изготовляется путем пропитки картона битумами различных марок. В зависимости от сорта рубероида он после пропитки битумом посыпается песком, тальком или сланцевой мукой.

При изготовлении картона из тряпья исходное сырье сортируют и измельчают. Изрубленное тряпье пневмо- или гидротранспортом подается на роллы, где оно размалывается с водой до 3%-ной концентрации. Из роллов тряпичная масса поступает в металлические бассейны и далее в песочницы для выделения тяжелых примесей. Очищенная в песочницах и доведенная до 0,8—1%-ной концентрации масса рафинируется в конических мельницах и передается в металлические бассейны, в которых создается запас массы.

При изготовлении картона из бумажной макулатуры последняя вместе с водой поступает в гидроразбавитель. Полученная бумажная масса поступает в сборный бассейн, где разбавляется до 1%-ной концентрации, затем она освобождается от тяжелых примесей в песочницах и сортируется на ситах с отверстиями размером

3 мм. Задержанная на ситах неразмолотая макулатура снова подается в гидроразбавитель; процеженная масса подвергается сгущению до 3%-ной концентрации и рафинированию в конических мельницах. Отсюда она направляется в бассейны для хранения.

При изготовлении картона из древесной массы исходная древесина дробится на рубильной машине, сортируется и направляется в варочные аппараты, где щепка обрабатывается едким натром и паром. После варки щепка размалывается на дисковых мельницах, разбавляется водой до 0,5%-ной концентрации и направляется на сортировку. Отсортированная масса подается на песочницу и далее в сгуститель, где ее концентрация увеличивается до 3%. Сгущенная масса рафинируется в конических мельницах и далее поступает в бассейны запаса массы.

Из бассейнов запаса масса тремя потоками направляется в композиционные бассейны, где потоки смешивают в определенных пропорциях. Смешанная и разбавленная водой до 1%-ной концентрации, масса поступает на сетки картоноделательных машин, здесь она постепенно обезвоживается и

сушится. Готовый картон разрезается на куски требуемых размеров и наматывается на бобины, в таком виде он поступает в агрегаты для пропитки битумом. В них картон разматывается, поливается битумом и затем направляется в пропиточную ванну. Полученный полуфабрикат- пергамин покрывается затем смесью битума и талька или сланцевой муки. Готовый рубероид поступает на намоточный и упаковочный станки.

Толь получают путем пропитки картона дегтепродуктами каменного угля с последующей посыпкой песком или другими минеральными смесями.

На заводах картоно-рубероидного производства сточные воды поступают от охлаждения подшипников, от холодильников и компрессоров, картоноделательных машин, охлаждения дымососов, продувки котлов и водоочистки. На заводах по производству рубероида на привозном картоне сточные воды поступают от тех же операций, кроме того. они поступают от холодильников окислительной установки, обогрева паром оборудования главного корпуса и обогрева складов пропиточной массы и антраценового масла.

Незагрязнённые сточные воды образуются при охлаждении технологического оборудования без контакта с охлаждаемой средой, а также конденсат при паровом обогреве оборудования и пропиточных масс.

Загрязнённые сточные воды образуются в картоноделательных цехах при мокрой очистке сырья и при обезвоживании массы на картоноделательных машинах, они составляют 75-80 % общего количества сточных вод.

Незагрязнённые сточные воды используются повторно в системах оборотного водоснабжения при производстве рубероида на привозном картоне или повторно в картоноделательных цехах.

Удельные количества сточных вод в м<sup>3</sup> на 1 т продукции приведены в табл.16

**Таблица 16.**

**Удельные расходы сточных вод в картоно - рубероидном производстве.**

Цех или технологическая операция	Сточные воды в м <sup>3</sup> , на 1 т продукции.	
	Незагрязнённые	Загрязнённые
Картонно-рубероидное производство		
Охлаждение цилиндров, холодильников и компрессоров.....	22,0	---
Картоноделательный цех.....	---	21,5 - 75,0
Котельная .....	0,5	---
Производство рубероида (на привозном картоне)		
Охлаждение холодильных цилиндров, холодильников битумной окислительной установки, компрессоров.....	14,0	---
Котельная .....	0,20	---
Очистка воздуха.....	---	0,6 – 1,25*)

Производство толя (на привозном картоне)		
Охлаждение холодильных цилиндров пропиточных агрегатов.....	2,60 - 8,0	---
Котельная .....	0,75	---
Парообогрев оборудования в главном корпусе.....	0,75	---
Обогрев складов пропиточной массы и антраценового масла.....	1,20	---

\*) – на 1000 м<sup>3</sup> воздуха

Сточные воды предприятий картоно-рубериоидной и толевой промышленности в основном загрязнены волокном, минеральными и органическими веществами. Волокно составляет 60 - 70 % общего количества находящихся во взвешенном состоянии загрязнений, остальные 30 - 40 % - минеральные и органические загрязнения.

Сточные воды имеют нейтральную реакцию; температура их около 20°C. Общий расход сточных вод картоно-рубериоидных заводов колеблется от 5 до 20 тыс. м<sup>3</sup>/сут. К минеральным загрязнениям относятся мел, тальк, литопон, каолин, песок. Органические вещества представлены клеящими веществами, мелким волокном, лигнином и образуют в воде коллоидные и близкие к ним соединения. Кроме того, в сточной воде содержится крупное древесное и тряпичное волокно.

Характеристика сточных вод от картоно рубериоидного производства приведены в таблице 17.

**Таблица 17.**

**Характеристика сточных вод картоно рубериоидного производства**

Показатели	Значения показателей для сточных вод	
	общий(до очистки)	после флотаторов
Количество загрязнений, мг/л :		
- взвешенные вещества :		
минеральные...	300-500	250-450
органические...	600-1000	250-400
- коллоидные и растворённые соединения :		
минеральные...	50-100	50-100
органические...	150-300	100-200
- нефтепродукты...	30-50	10-20
Сумма органических веществ в пересчёте на БПК <sub>полн</sub> ( после отстаивания воды), мг О <sub>2</sub> /л	700-900	600-800

Стоки картоно-рубериоидных заводов перед выпуском в водоём или в городскую канализацию или перед повторным использованием, должны подвергаться полной биологической очистки, как правило, на локальных сооружениях.

Учитывая сравнительно невысокие требования к качеству технической воды для картоно-рубериоидного производства, необходимо повторно использовать все очищенные воды.

Очищенные воды при возврате в производство должны иметь следующие показатели :

Концентрация загрязнений, мг/л :

- взвешенные вещества – до 100
- нефтепродукты -  $\geq 5$
- БПК<sub>полн</sub>, мг О<sub>2</sub>/л -  $\geq 30$
- рН – 6,5 - 7,5
- Жесткость, мгэкв/л – до 10

Совместная очистка бытовых и производственных сточных вод после душевых и прачечных завода, как правило, не рекомендуется вследствие необходимости в значительном разбавлении (не менее пятикратного) производственных вод и затруднений с повторным использованием в производстве очищенных вод бытового происхождения по санитарным соображениям. При сбросе производственных сточных вод в городскую канализацию, волокнистые вещества будут осложнять очистку воды на городских сооружениях.

Нами разработана технологическая схема для очистки производственных сточных вод картонно рубероидных заводов.

В состав очистных сооружений входят : флотаторы, первичные отстойники с добавкой коагулянтов и флокулянтов; аэротенки на полную очистку с регенераторами и введением биогенных добавок; вторичные отстойники; аэробный минерализатор осадка; установка для механического обезвоживания на отстойных центрифугах; аварийные иловые площадки на 10% годового количества осадка; сооружения обеззараживания осадка в целях использования его на сельскохозяйственных полях; сооружения ультрафиолетового обеззараживания очищенных сточных вод; вспомогательные здания и сооружения.

При расчёте первичных отстойников рекомендуется принимать расчётную скорость движения воды не выше 5 мм/сек, так как наименьшая скорость осаждения частиц основной массы (80%) взвешенных веществ не превышает 0,25 мм/сек.

Влажность удаляемого осадка находится в пределах 96 – 98 %, объём его 2 – 5 % от объёма осветлённой воды.

В качестве коагулянта применяется сернокислый алюминий, оптимальная доза которого определяется опытным путём или по данным сооружений, работающих в аналогичных условиях. При предварительных расчётах дозу коагулянта можно принимать порядка 100 мг/л (по безводному продукту), такую дозу коагулянта дают в первичный отстойник и во флотатор. Для интенсификации осаждения взвешенных веществ в отстойниках и повышение эффективности флотации, в последнее время добавляют ещё и флокулянты (полиакриламид – 1-10 мг/л; магнафлоки и др).

Эффективность задержания аэробно-сброженного осадка на центрифугах не превышает 20-25%. Аэробный минерализатор необходимо рассчитывать на приём поступающего осадка и возвращаемого фугата. Практически при центрифугировании необходимо вывести столько же загрязнений (в виде сухого скопа влажностью 75%), сколько их поступает на первичные отстойники с учетом ещё загрязнений от коагулянта.

Биологическая очистка производственных сточных вод картонно-рубероидных производств может происходить в аэротенках, биофильтрах или биореакторах[21]. При биологической очистке одних только производственных сточных вод приходится добавлять биогенные элементы (фосфор, азот) в виде ортофосфорной кислоты, фосфатов, мочевины и др. Дозу питательных солей принимают равной по азоту  $10 \text{ г/м}^3$ , по фосфору -  $5 \text{ г/м}^3$ . Биогенные добавки требуются и в тех случаях, когда биологической очистке подвергается смесь производственных сточных вод с небольшим количеством бытовых стоков.

Для доочистки биологически очищенных сточных вод применяют контактные фильтры-осветлители с движением воды снизу вверх. Для повышения рабочего эффекта фильтров, поступающая на них вода может подвергаться коагуляции или флокуляции. Скорость фильтрации  $5 \text{ м/ч}$ , средняя продолжительность фильтроцикла около 15 часов, интенсивность регенерации – промывки –  $13\text{-}14 \text{ л/сек}\cdot\text{м}^2$ , продолжительность промывки в этом случае около 7 мин, промывная вода после фильтров содержит  $2,5\text{-}3,5 \text{ г/л}$  взвешенных веществ. Эту воду возвращают в отстойники, что должно учитываться при их расчете.

Сточные воды от производств, работающих на привозном картоне, поступающие в основном из скрубберов и циклонов вентиляционных систем, очищаются путём их отстаивания. Отстойники рассчитываются по приведённым выше нормативам, однако влажность удаляемого из отстойников осадка в этом случае лежит в пределах  $90\text{-}92 \%$ .

### **8.3. Производство изола и пороизола**

Изол изготавливают в виде рулонных материалов для изоляции и покрытия кровли, а также в виде мастик для изоляции швов, поверхностей и для склеивания. Исходным сырьем при изготовлении изола служат старые автопокрышки, битумы, смолы и асбест. Резина измельчается в дробильных вальцах, девулканизируется совместно с битумом и смолами, пластифицируется с асбестом на вальцах и каландруется. Для изготовления мастик в качестве растворителя применяют бензин.

Пороизол - прокладочный материал, изготавливаемый из резиновой крошки.

Технологический процесс получения пороизола состоит в девулканизации резиновой крошки с нефтяными дистиллятами и креозотовым маслом.

На заводах, производящих изол и пороизол, незагрязненные сточные воды образуются от охлаждения оборудования, дымососов котельных, водоочистки и охлаждения компрессоров. Загрязненные сточные воды образуются при обмыве старых автопокрышек, мойке полов и эксплуатации циклонов вентиляционных систем.

Незагрязненные сточные воды на этих заводах используются в системах оборотного водоснабжения.

Удельные количества сточных вод на  $1000 \text{ м}^2$  изола и  $0,5 \text{ т}$  мастики изол приведены в табл.18.

Таблица 18.

**Удельные количества сточных вод, образующихся при  
производстве изола и мастики изол.**

Цех и технологическая операция	Сточные воды в м <sup>3</sup> на 1000 м <sup>2</sup> изола и 0,5 т мастики изол	
	Незагрязнённые	Загрязнённые
Охлаждение технологического оборудования и компрессоров	120	---
Котельная	5,0	---
Мойка автопокрышек и смыв полов	---	1,50
Очистка воздуха вентиляционных систем	---	1,00

Количество сточных вод от производства 1 т пороизола составляет 72 м<sup>3</sup>, из них 64 м<sup>3</sup> - вода от охлаждения оборудования и компрессоров.

Сточные воды предприятий, производящих изол и пороизол, загрязнены частицами песка, глины, резины, нефтепродукты, асбест, смолы и битумы, бензин, попадающих в сточные воды при промывке старых автопокрышек и технологических операций, а также пылью из циклонов вентиляции.

Концентрация этих загрязнений в сточных водах колеблется в довольно широких пределах от 1 до 5 г/л и зависит от степени загрязненности автопокрышек, нефтепродуктов 20-50 мг/л.

На предприятиях, производящих изол и пороизол, устраиваются отдельные канализационные сети для отведения бытовых сточных вод и производственных и ливневых стоков.

В тех случаях, когда производства изола и пороизола являются цехами какого-либо комбината и их производственные стоки содержат незначительное количество загрязнений, в зависимости от местных условий возможно устройство одной канализационной сети для всех производственных вод.

Канализационные сети и насосные станции перекачки производственных сточных вод проектируются по СНиП.

Очистку загрязненных производственных сточных вод производят путем отстаивания. В этих целях чаще всего применяют горизонтальные отстойники, располагаемые вблизи цехов. Отстойники рассчитывают на продолжительность пребывания в них сточной жидкости 1,5-2 ч; скорость потока обычно не превышает 5 мм/сек. Общая глубина отстойников чаще всего составляет 2 м, из них 0,7 - 1,2 м занимает проточная часть и 0,8 м – осадочная часть. Объем выпавшего осадка составляет ≈ 1% объема осветленной воды.

Остаточное содержание взвешенных веществ в сточных водах, прошедших механическую очистку в горизонтальных отстойниках, колеблется в пределах 15-75 мг/л и даже больше.

Осадок из отстойников, на существующих предприятиях, перекачивается в автоцистерны и вывозится на свалку, месторасположение которой согласовывается с органами санитарного надзора. Объем осадка зависит от способа удаления его из отстойника.

Из вышеприведённого видно, что очистка сточных вод производств изола и пороизола не соответствует современным и европейским требованиям. В отстойниках, в основном, происходит очистка от минеральных загрязнений и малоэффективно от некоторых органических (смол и битумов). В то же время в отстойниках совершенно не очищается вода от эмульгированных нефтепродуктов, асбеста – канцерогенного вещества, бензинов, мастик и др. Кроме того, необезвоженные осадки, содержащие до 40 – 70% нефтепродуктов, смол, битумов и пр., вывозятся на свалки, загрязняя воздух и подземные воды; совершенно нигде не используются.

Нами разработана технологическая схема и оборудование для очистки сточных вод производств изола и пороизола.(рис.12).

При этом, существующие горизонтальные отстойники, могут быть реконструированы[16] в тонкослойные с доведением эффекта очистки вод с 40% до 65-70%. Для удаления эмульгированных нефтепродуктов, асбеста, смол и битумов предлагается многокамерный флотатор[17].

Осадки содержащие 30-70% нефтепродуктов, могут успешно использоваться в смеси (до 10%) асфальтобетонных заводов для строительства автомобильных дорог. Исследования были проведены нами совместно с Днепропетровским филиалом «Гипродор».

Очищенные стоки направляются на повторное использование[15]:

- концентрация взвешенных веществ в них не должна превышать 30-40 мг/л;

- нефтепродуктов – 5-10 мг/л.

По предлагаемой технологической схеме эти показатели будут значительно ниже, что подтверждается практическими результатами. Известно так же, что действующие предприятия, имея устаревшую технологию и оборудование, периодически, а некоторые систематически сбрасывают неочищенные или недостаточно очищенные стоки в городскую канализацию. Внедрение новых технологий и сооружений будет способствовать лучшей очистке городских сточных вод.

### **Подавление выбросов пыли и газов в атмосферу.**

На действующих производствах изола и пороизола, картона и рубероида в основном применяют циклоны. Эти сооружения в основном очищают воздух от пыли (минеральной и органической) на 30-50% (при одноступенчатой схеме) и совершенно не очищают от паров бензина, смол, мастик и нефтепродуктов. Поэтому в радиусе 1-1,5 км вокруг этих предприятий наблюдается загазованность ароматическими углеводородами (канцерогенные вещества), бензина и пр.

Технология пылегазоочистки существующих предприятий должна быть реконструирована. При внедрении новых методов газоочистки должны



быть предусмотрены физико-химические методы для очистки воздуха от токсичных веществ: бензинов, асбеста, паров смол и пр. (абсорберы, адсорберы, скруббера).

## Глава 9. Заводы технического и строительного стекла.

### 9.1. Сырье, технология получения и свойства стекла

Стекло - универсальный и удивительный материал. Его производство базируется на сложной последовательности технологических операций, параметры которых в первую очередь зависят от сырьевых материалов, которые входят в состав шихты.

Сырьевые материалы для производства стекла условно разделяют на основные и вспомогательные (табл.19.)

Основные материалы содержат оксиды, которые образуют структуру стекла и определяют его свойства. Да, оксид  $\text{Na}_2\text{O}$  убыстряет процесс варки, снижая температуру плавления, но уменьшает химическую стойкость стекла. Оксид  $\text{CaO}$ , напротив, повышает химическую стойкость, оксид  $\text{Al}_2\text{O}_3$  повышает прочность, термическую и химическую стойкость, оксид  $\text{PbO}$  повышает показатель светопреломления.

Вспомогательные материалы вводят для улучшения реологических характеристик стекломассы, ускорения ее варки, расцветки, освещения, содействия кристаллизации и тому подобное.

Сырьевые материалы могут применяться как в виде естественного сырья, так и в виде отходов химической, металлургической, горнодобывающей промышленности.

Технология изготовления стекла и изделий на его основе предусматривает такие операции и процессы: подготовку сырьевых материалов, приготовление стеклянной шихты, стекловарение, формирование из стекломассы материалов и изделий, механическую, термическую и химическую обработку изделий для повышения эксплуатационных свойств.

Таблица 19.

Сырьевые материалы для производства стекла.

Группы материалов	Название
<b>Основные материалы</b>	
кремнеземистые, которые содержат $\text{SiO}_2$ , 55...75 мас. %	кварцевый песок, меленый песок и кварциты с ограниченным содержанием примесей
глиноземистые, которые содержат $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 2...25 мас. %	технический оксид алюминия, гидроксид алюминия $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , полевые шпаты, пегматиты, каолин, отходы полевошпатного и нефелинового концентратов, гранит, трахит, вулканический пепел
щёлочноземельные, которые содержат $\text{CaO} \cdot \text{MgO}$ 5...25 мас. %	известь, мел, мрамор, доломит, магнезит
щелочные, которые содержат $\text{Na}_2\text{O}$ та $\text{K}_2\text{O}$ до 15 мас. %	сода, поташ, сульфаты щелочных металлов

Вспомогательные материалы	
модификаторы для придания стеклу специальных свойств	оксиды свинца, бария, цинка, циркония, титана, фосфора
окислители	нитрати, мышьяк, оксид марганца
Восстановители	оксид олова, тирса, уголь, кокс
Ускорители	фтористые соединения, оксиды бора, бария, аммонийные соли
Красители	соединения марганца (фиолетовый и черный цвет), кобальта (светло - синий цвет), хрома (желто-зеленый цвет), никеля (красно- фиолетовый цвет), меди (красный цвет), железа (FeO - сине-зеленый цвет, FeS - желтый цвет)
Глушители	соединения фтора, фосфора, олова, сурмы, циркония
Осветлители	селитра, оксиды мышьяка та сурмы, хлорид натрия, сульфат натрия, фтористые соли
кристаллизаторы	металлы (золото, серебро, платина, медь), оксиды (хрома, фосфора, циркония, титана, цинка, станума), фториды $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ , $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ , плавильный шпат $\text{CaF}_2$ , сульфиды ферума, цинка, марганцу, купрума

Подготовка включает измельчение и размалывание крупных кусков, сушение влажных материалов, классификацию дисперсных материалов.

Приготовление стеклянной шихты начинается с усреднения, дозирования и перемешивания компонентов.

Стекловарение осуществляется в печах непрерывной (ванновые печи) и периодического (горшковые печи) действия.

Процесс варки стекла состоит из пяти этапов: силикатообразования, стеклообразования, освещение, гомогенизации и охлаждения.

На первом этапе образуются силикаты и другие промежуточные соединения, и в результате плавления эвтектических смесей, появляется жидкая фаза. Образованные в шихте силикаты вместе с жидкой фазой и компонентами, которые не прореагировали, спекаются в плотную массу. Процесс силикатообразования начинается при температуре почти  $725^{\circ}\text{C}$  и заканчивается почти при  $1150^{\circ}\text{C}$ .

С последующим повышением температуры в расплаве завершаются реакции силикатообразования, происходит взаимное растворение силикатов и избыточного кремнезема, в результате чего образуется стекломасса, насыщенная газовыми пузырьками. Процесс стеклообразования обычно завершается при температуре почти  $1250^{\circ}\text{C}$ .

Осветление и гомогенизация стекломассы происходят почти в одном интервале температур. С этой целью стекломассу нагревают до температуры  $1150...1600^{\circ}\text{C}$ . С повышением температуры резко снижается вязкость расплава и соответственно облегчается удаление больших и малых газовых пузырьков, то есть расплав усредняется за составом, становясь однородным.

Процесс стекловарения завершается охлаждением стекломассы на 300...400°C, в результате чего она приобретает вязкость, необходимую для формирования изделий (вытягивание, прокатывание, прессование, литье и тому подобное).

Формирование изделий осуществляется разными методами: вертикальным и горизонтальным вытягиванием, прокатыванием, способом плавающей ленты (флоат – способ), прессованием, выдуванием, прессовыдуванием и тому подобное.

Способ плавающей ленты, является наиболее совершенным из всех способов, известных на это время. Он позволяет изготавливать стекло с высоким качеством поверхности. Особенностью этого способа является то, что процесс формирования ленты протекает на поверхности расплавленного олова. Нижняя поверхность стекла выходит ровной, за счет контакта с расплавленным металлом, а верхняя - благодаря действию сил поверхностного натяжения стекломассы. После формирования поверхность листового стекла не нуждается в последующем полировании.

Обжигание - обязательная операция при производстве изделий. При быстром охлаждении в изделиях возникают большие внутренние напряжения, которые могут привести к их саморазрушению.

Закал - эта операция применяется для повышения физико-механических характеристик стекла и осуществляется доведением стекла к пластичному состоянию с последующим резким охлаждением его поверхности.

Кроме закала, для улучшения механических свойств, применяют травление с последующим покрытием пленками, электрохимическую обработку поверхности, микрокристаллизацию.

Сопротивление изгиба увеличивается при закале в 4...5 раз, а в случае применения травления с покрытием пленкой - в 5...10 раз, микрокристаллизацию - в 10...15 раз. Ударная вязкость закаленного стекла в 5...6 раз выше, чем у отпаленного, а у стекла, закаленного пищеварением плавиковой (фтороводородной) кислотой - в 3...4 раза более высокая, сравнительно с необработанным стеклом.

Заключительная стадия обработки включает операции шлифования, полирования, декоративной обработки.

**Свойства стекла.** Структура стекла предопределяет ряд его специфических свойств, в том числе прозрачность, прочность, стойкость к атмосферным влияниям, водо- и газонепроницаемость.

Наиболее важными для стекла являются не только оптические свойства, что превращают его в уникальный материал, но и механические, поскольку его использование является многоцелевым.

Оптические свойства стекла характеризуются прозрачностью, светопрозрачностью, светопоглощением, светопреломлением, светорассеиванием и тому подобное. Обычные оконные стекла пропускают видимую часть светового спектра и не пропускают инфракрасных и ультрафиолетовых лучей. Светопропускание измеряют коэффициентом

пропускания, который определяется отношением количества световой энергии, что прошла сквозь стекло, к полной его энергии. Светопропускание оконного стекла при толщине 5 мм составляет 84...87% и зависит не только от вида стекла, но и от угла падения световых лучей.

В строительных конструкциях стекло испытывает действие розтягивающих и ударных нагрузок, реже - действия сжатия, поэтому основными характеристиками, что определяют его качество, есть прочность при розтяжении и хрупкость.

Теоретическая прочность стекла при сжатии составляет более 20000 МПа, а при розтяжении - 12000 МПа, фактическая - значительно более низкая (при сжатии - 500...2000 МПа, при розтяжении - 35...100 МПа).

Одной из причин большой разницы между теоретической и реальной прочностью стекла, является дефектность поверхности реального стекла - наличие микротрещин, которые сильно ослабляют сопротивление хрупкого материала под влиянием внешних нагрузок.

Считают, что образование поверхностных дефектов зависит от степени однородности исходной стекломассы, способа и условий формирования изделий, характера механической и термической обработки, температуры и влажности окружающей среды, длительности действия нагрузки, масштабного фактора.

Удаление дефектного слоя, например, из поверхности листового стекла путем обработки ее плавиковой кислотой дает возможность повысить прочность стекла при изгибе к значениям, что превышают 300 МПа, однако необходимые дополнительные меры относительно последующей защиты поверхности от контактных повреждений. Локализация действия поверхностных дефектов путем закалки стекла позволяет повысить прочность при изгибе до 50 МПа, а обработка поверхности путем ионного обмена - до 70 МПа.

Стекло является хрупким материалом. Для него характерное отсутствие пластических деформаций.

Хрупкость, как показатель деформативности, является главным недостатком стекла, характеризуется отношениям модуля упругости  $E$ , к границы прочности при розтяжении  $R_p$ . Чем больше хрупкость, тем при меньшей деформации напряжения в материале происходит его разрушение. Показатель хрупкости стекла  $E/R_p=300...1500$ , в то время, как для стали он равняется 400...450, а для резины - 0,4...0,6.

Плотность стекла (при отсутствии пористости истинная совпадает со средней) составляет 2,45...2,55 г/см<sup>3</sup>, а для специальных стекол она может достигать 8,0 г/см<sup>3</sup>.

Теплопроводность обычного стекла составляет 0,40...0,82 Вт/(м · К), а теплоемкость - 0,63...1,05 кДж/(кг · К).

Термическая стойкость. При резком охлаждении стекла, поверхностные слои охлаждаются быстрее внутренних и поэтому, в поверхностных слоях стеклоизделий возникают напряжения розтяжения, во внутренних - сжатия. При быстром нагревании изделия, напротив, в

поверхностных слоях будут возникать напряжения сжатия, во внутренних - растяжения. Учитывая, что разрушение стекла начинается с поверхности и прочность стекла при сжатии в многократно более большая прочности при растяжении, резкое охлаждение стеклоизделий более опасно, чем быстрое нагревание. Обычно термостойкость стекла зависит от химического состава, температурного коэффициента линейного расширения (который равняется  $(9,6... 15,0) \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ ) и толщины изделий (для оконного стекла толщиной 2 мм термостойкость составляет  $100^\circ\text{C}$ , а толщиной 5 мм - всего  $80^\circ\text{C}$ ).

Стекло имеет значительную плотность и в то же время высокую звукоизоляционную способность. За этим показателем стекло толщиной 1 см отвечает кирпичной стене толщиной 12 см.

Химическая стойкость стекла зависит от его состава. Оксиды элементов I группы наиболее резко снижают водостойкость стекла. С увеличением содержания этих оксидов в стекле растет количество разрывов связей Si-O-Si, происходит взрыхление кремнекислородного каркаса стекла и облегчается диффузия ионов металлов в раствор. По степени влияния на снижение химической стойкости оксиды элементов I группы располагаются в ряд:  $\text{Cs}_2\text{O} > \text{Rb}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O} > \text{Li}_2\text{O}$ . щелочносиликатное стекло относят к группе химически неустойчивого в воде. Введение в такое стекло оксидов элементов II группы повышает его химическую стойкость и переводит стекло в группу химически стойких. По степени влияния на химическую стойкость стекол относительно воды эти оксиды располагаются в ряд:  $\text{BaO} < \text{SrO} < \text{CaO} < \text{ZnO} < \text{MgO} < \text{BeO}$ .

Оксиды элементов III группы влияют на химическую стойкость стекла только в определенной концентрации, что связано с координационными переходами элементов. В целом, по степени увеличения химической стойкости стекла, оксиды элементов III группы располагаются в ряд:  $\text{B}_2\text{O}_3 < \text{G}_2\text{O}_3 < \text{Al}_2\text{O}_3$ .

Наибольшее влияние на повышение химической стойкости относительно воды имеют оксиды IV группы элементов:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$ . Наивысшую стойкость добавляет  $\text{ZrO}_2$ , введение которого вместо какого-нибудь другого оксида приводит к повышению химической стойкости стекла не только относительно воды, но и растворов кислот и щелочей.

Силикатное стекло имеет высокую стойкость к большинству растворов кислот, за исключением HF и  $\text{H}_3\text{PO}_4$ .

Номенклатура материалов изменяется в зависимости от уровня технического развития общества, растут требования к изделиям, расширяются отрасли применения их. За микроструктурой различают стеклянные материалы, технология изготовления которых не предусматривает кристаллизации (строительное стекло и изделия на его основе) и стеклокристаллические материалы (марблит, стекломрамор, ситалы), которые подлежат частичной кристаллизации в процессе изготовления.

Строительное стекло, и стеклянные изделия широко применяют при застеклении, отделке и декорировании сооружений.

## 9.2. Производство строительных изделий из стекла и загрязнение окружающей среды.

На заводах технического и строительного стекла производится стекло листовое (оконное), полированное, силикат-глыба, стеклопластики, пеностекло, стекловолокно и стеклянные трубы.

Стеклом называют аморфные тела, получаемые путём переохлаждения расплава, независимо от их свойства и температурной области твердения. По происхождению стекла подразделяют на природные и искусственные.

К природным, относят стёкла образованные в процессе деятельности вулканов (извержение магм). Например, обсидиановое стекло.

К искусственным относят все стекла, создаваемые в результате труда человека. Искусственные стекла бывают органические и неорганические.

Главный компонент стекол – кислород. Поэтому условно составы стекол выражают в виде суммы оксидов, входящих в них элементов. Те оксиды, которые, охлаждаясь из расплава, способны сами по себе, без примеси других элементов, образовывать стекла, - называют стеклообразующими.

В зависимости от стеклообразующего оксида, на основе которого получено стекло происходит и название его типа.

Так, наиболее распространено силикатное стекло, получаемое на основе оксида кремния  $\text{SiO}_2$ , боратное на основе оксида бора  $\text{B}_2\text{O}_3$ , фосфатное  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Кроме того в состав стекол входят оксиды натрия  $\text{Na}_2\text{O}$ , калия  $\text{K}_2\text{O}$ , кальция  $\text{CaO}$ , магния  $\text{MgO}$ , алюминия  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , бария  $\text{BaO}$ , свинца  $\text{PbO}$ , цинка  $\text{ZnO}$ , марганца  $\text{MnO}$ , меди  $\text{CuO}$ .

По назначению промышленные стекла подразделяются на строительное, техническое, электровакуумное, оптическое, тарное, сортовое.

**Таблица 20.**

**Состав промышленных стекол, % по массе.**

Вид стекла	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{B}_2\text{O}_3$	$\text{PbO}$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Mn}_2\text{O}_3$	F	$\text{SO}_3$
Листовое:												
1.вертикальное по вытягиванию	71,7	2,0	6,7	4,1	14,9	---	---	---	0,1	---	---	0,5
2.прокатное	72,7	1,0	8,7	3,6	13,4	---	---	---	0,1	---	---	0,5
3.полированное	73,2	1,3	7,8	3,8	13,9	---	---	---	---	---	---	---
4.коврово-мозаичная плитка	70,0	6,0	5,4	---	15,5	---	---	---	---	---	3,1	---
5.стеклоблоки	74,4	0,8	5,6	4,0	15,2	---	---	---	---	---	---	---
6.стеклопрофилит	72,0	1,2	8,6	3,9	13,8	---	---	---	---	---	0,5	---
7.марблит	64,8	4,0	7,1	---	16,5	---	---	---	---	7,6	---	---
8.марблит (чёрный)	65,3	2,8	6,6	---	18,5	---	---	---	---	4,8	2,0	---
9.свинцовый хрусталь	58,0	---	---	---	1,0	15,0	1,0	24,0	---	---	---	1,0

### **Производство листового стекла**

Сырьем для производства листового стекла служат песок, доломит, сода, мел или известняк, пегматит и сульфат с добавкой угля.

Исходное сырье поступает в составной цех, в котором подвергается сушке, размолу и просеву. При наличии в песке большого количества окислов железа он подвергается обогащению. Из подготовленных материалов составляется шихта, которая после перемешивания подается в регенеративные ванны печи непрерывного действия, где варится при температуре 1470 - 1550°C.

### **Производство полированного стекла**

Для производства полированного стекла применяют в основном те же материалы, что и для производства листового стекла. Первичная обработка сырья и его варка аналогичны изготовлению листового стекла. После варки стекломасса поступает в прокатную машину, откуда лента стекла направляется в печь отжига. Отожженная лента стекла разрезается на листы заданных размеров и в таком виде поступает в цех шлифовки и полировки. Здесь стекло обрабатывается абразивами и крокусной суспензией. При цехе шлифовки и полировки стекла имеются отделение классификации песка и установка для подготовки крокусной суспензии. После полировки листы стекла моются и поступают на склад готовой продукции.

### **Производство силикат-глыбы**

Сырьем для производства силикат-глыбы служит необогащенный песок, сода или сульфат с добавкой антрацита.

Шихта, подготовленная в составном цехе, загружается в ванную печь, сваренная стекломасса отсюда вытекает через фильеры отдельными струйками и стекает в установку для охлаждения. Здесь струйки стекломассы, под действием постоянно циркулирующей воды охлаждаются и растрескиваются на отдельные гранулы. После сушки силикат-глыба транспортируется в бункера.

### **Производство пустотелых стеклянных блоков**

Сырьем для изготовления стеклоблоков служат песок, сода, известняк, сульфат, пегматит и доломит.

Технология производства стеклянных блоков аналогична технологии предыдущих производств.

Варка стекломассы ведется в регенеративной ванной печи. Отсюда с помощью механического питателя стекломасса выдается каплями определенного веса и размера, которые падают в воронку каплеприемников пресса, далее они передаются в пресс-форму пресса, где и формируются полублоки. Полублоки подаются в автомат сварки; сваренные блоки подвергают термообработке в печах отжига и последующей экранирующей обмазке. После высушивания экранирующей обмазки блоки поступают на склад готовой продукции.

### **Производство пеностекла**

Сырьем для производства пеностекла служат песок, мел и сода, из которых варится гранулят. Вместо гранулята можно применять бой стекла. В качестве газообразователя служит каменный уголь или кокс.

Приготовленная шихта насыпается в формы и поступает в туннельную печь, где происходят расплав, реакция газообразования и вспенивания шихты до размеров формы. После выхода из туннельной печи формы с блоками транспортируются на склад готовой продукции.

### **Производство стекловолокна**

Стекловолокно делится на непрерывное и штапельное. Непрерывное стекловолокно изготавливается методом вытягивания, штапельное - методом раздува.

Сырьем для производства стекловолокна служат песок, глинозем, мел, доломит, борная кислота, сульфат, плавиковый шпат и мышьяк.

Сырье обрабатывается в составном цехе, где составляется шихта определенного состава, из которой в ванной регенеративной печи варится стекло.

При производстве непрерывного стекловолокна сначала вырабатываются шарики (или сухой эрклез), которые после обработки загружают в специальные печи или сосуды, где они плавятся и вытягиваются через фильеры. Вытягиваемое волокно наматывается на барабаны или бобины и направляется на склад.

При производстве штапельного стекловолокна стекломасса, выходящая из ванной печи, поступает через фильеры на конвейер, где раздувается паром. Короткие волокна на лету смачиваются смолой и оседают на движущуюся ленту конвейера. Затем производятся сушка стекловолокна и полимеризация в специальной камере, обрезка краев и наклейка на плиты стеклоткани; разрезанная или свернутая в рулоны ткань поступает на склад.

### **Производство стеклянных труб**

Сырьем для производства стеклянных труб служат песок, доломит, мел, глинозем, сода и плавиковый шпат.

Подготовка шихты производится по приведенной ранее технологии для других видов продукции. Шихту загружают в ванную печь, откуда она в виде готовой стекломассы поступает в машины для изготовления труб. По выходе из машин трубы режут на отрезки требуемой длины и передают в печи отжига. Выравнивание и зашлифовка торцов труб и нанесение фаски производятся на абразивных станках. После этого трубы поступают на моечный станок, где с их концов смывается эмульсия, применяемая при резке. Затем трубы подвергают термическому и гидравлическому испытанию; готовая продукция направляется на склад.

Фасонные части (отводы, вставки, тройники и т. д.) готовят из той же стекломассы. При этом наконечники и вставки прессуют на автоматическом прессе; тройники сваривают из отрезков труб; отводы выдувают. Изготовленные фасонные части поступают на первичный отжиг, после чего их обрабатывают на абразивных станках и моют.



Приварка наконечников к фасонным деталям производится на станке для газовой сварки.

После этого фасонные части подвергают вторичному обжигу в туннельной печи; затем производится термическое и гидравлическое испытание фасонных частей, после чего их направляют на склад.

### 9.3. Источники загрязнения вод.

На заводах строительного и технического стекла образуются незагрязненные и загрязненные производственные сточные воды.

Незагрязненные сточные воды поступают от охлаждения технологического и теплотехнического оборудования основных цехов, а также компрессоров в компрессорных и кислородных станциях.

Загрязненные сточные воды образуются при обогащении песка, обработке и мойке стекла, подготовке крокуса, классификации абразивных песков, мойке полов и оборудования, при охлаждении ленты на конвейерах с двусторонней полировкой, а также при работе циклонов вентиляционных систем, испытательных и грануляционных установок, лабораторий и камер волокнообразования.

Удельные количества незагрязненных и загрязненных сточных вод в м<sup>3</sup> на единицу готовой продукции приведены в табл.21 и 22.

**Таблица 21.**

**Удельные количества незагрязненных сточных вод в м<sup>3</sup> на единицу готовой продукции.**

Производство	Единица измерения	Удельный расход сточных вод в м <sup>3</sup> на единицу продукции.	
		При прямоточной схеме	При оборотном цикле
Листового (оконного) стекла.....	1000 м <sup>2</sup>	77-96	8-15
Полированного стекла	1000 м <sup>2</sup>	300	15-80
Силикат-глыбы.....	1000 т	11400	700
Стеклоблоков.....	1000 шт.	40	6
Пеностекла.....	1000 м <sup>3</sup>	70	40
Стекловолокна.....	1000 м <sup>3</sup>	4500-5500	2700-3150
Стекланных труб.....	усл.км	220	32

Коэффициент часовой неравномерности притока сточных вод составного цеха и главного корпуса равен 1,1; подсобного цеха - 1,15 - 1,3.

Сток керамического цеха сбрасывается один раз в смену в течение 30 мин, сток крокусного цеха - один раз в смену в течение 20 мин. Загрязненные производственные сточные воды образуются в ряде цехов. В составном цехе они получаются при обогащении песка теплой мыльной водой с температурой 30 - 40°С и при мойке оборудования. Эти сточные воды загрязнены песком, содой, сульфатным мылом, ПАВ, глинистыми частицами и окислами железа. Отходы песка после его классификации и вода от мойки оборудования, содержащая песок, сбрасываются в шламовую канализацию.

Таблица 22.

**Удельные количества загрязненных производственных сточных вод в м<sup>3</sup> на единицу готовой продукции.**

Производство	Единица измерения	Удельный расход сточных вод в м <sup>3</sup> на единицу продукции	от составного цеха(обработка сырья и мойка оборудования)	от главного корпуса(обработка прол.)	от керамического цеха(мойка обор.и полов)	от подсобных цехов(мойка оборудования)	от крокусного цеха(мойка оборудования)
Листового (оконного) стекла.....	1000 м <sup>2</sup>	135-35	9-17	2-5	1-3,5	1,5-7	---
Полированного стекла.....	1000 м <sup>2</sup>	800	136	640	8	6	10
Силикат-глыбы.....	1000 т	350	24	308	8	5	---
Стеклоблоков.....	1000шт.	10	1,5	4	0,5	3	---
Пеностекла.....	1000 м <sup>3</sup>	0,5	0,3	---	0,1	0,1	---
Стекловолокна.....	1000 м <sup>3</sup>	140-185	71-72	65-108	1,3-2	4,5-8	---
Стекланных труб.....	усл.км	55	26	21	3	5	---

В цехе обработки листового стекла и стеклянных труб сточные воды образуются при обработке краев стекла и торцов труб на абразивных станках, к которым подается теплая вода. Эти стоки загрязнены стеклянной крошкой и абразивами; они сбрасываются в шламовую канализацию.

В цехе полированного стекла образуются сточные воды при обработке, стекла на шлифовальных станках, куда подается абразивная суспензия, и на полировальных станках, куда подается крокусная суспензия или полирит; в этом же цехе образуются стоки при двусторонней полировке и охлаждении ленты стекла водой. Сточные воды от полировки стекла содержат песок, абразив, крокусную суспензию и соду.

Загрязненные сточные воды от охлаждения ленты стекла используются в собственном оборотном цикле с периодическим сбросом в шламовую канализацию после извлечения из них ценных веществ. Содовый раствор, применяемый при мойке стекла, используется в собственном оборотном цикле с периодической его продувкой. Сброс части отработанного содового раствора производится в шламовую канализацию.

Сточные воды цеха силикат-глыбы загрязнены мелкими фракциями стекла. После осветления эти стоки используются в собственном оборотном цикле.

В цехе стеклоблоков загрязненные сточные воды образуются при мойке полов и оборудования. Эти воды содержат песок и частицы извести, их сбрасывают в шламовую канализацию.

Сточные воды цеха производства штапельного стекловолокна загрязнены следами органических смол. Эти стоки образуются при промывке цепи камеры волокнообразования; их сбрасывают в сеть бытовых сточных вод.

В крокусном цехе сточные воды, содержащие крокус, образуются при промывке крокусопроводов, мойке полов и оборудования. После извлечения крокуса эти сточные воды сбрасываются в шламовую канализацию.

Загрязненные сточные воды керамического цеха содержат глинистые частицы. Эти воды образуются при мойке полов и оборудования; они сбрасываются в шламовую канализацию.

Ориентировочные данные о составе сточных вод стекольных заводов приведены в табл.23.

**Таблица 23.**

**Характеристика загрязнений цеховых стоков и общего стока  
стекольных заводов.**

Показатель загрязнённости	Концентрация			
	обогащение песка	крокусный цех	цех полированного стекла	Общий сток
Цвет.....	Бурый	Красно-бурый	Красно-бурый	
рН.....	8	3-6	6,5-8,5	7-7,5
железо в мг/л...	5	15-20	3-8	3-8
БПК в мг/л...	3-20	2,0	3,0	4
Взвешенные вещества в г/л...	200-400	0,5-1,5	12-15	30-50
Размер фракции в мм.....	0,004-0,02	0,001-0,005	0,001-0,08	0,001-0,9
Объём осадка в % от объёма сточных вод...	40	0,05-0,5	2,5-4,5	2-5

На предприятиях по производству строительного и технического стекла устраивают отдельные канализационные сети для отведения бытовых сточных вод, незагрязненных производственных и ливневых сточных вод и производственных шламовых сточных вод.

При проектировании канализационных сетей пользуются указаниями СНиП. Расчетная скорость в трубах канализационной сети для отведения шламовых производственных стоков должна быть не менее 1,5 м/сек; в противном случае в трубах могут отлагаться тяжелые примеси к сточным водам (песок, крошка стекла, глина).

Насосные станции для перекачки сточных вод не имеют каких-либо специфических особенностей, поэтому при их проектировании пользуются указаниями СНиП.

Сточные воды заводов строительного и технического стекла нуждаются только в механической очистке, которая производится путем отстаивания. В этих целях применяют горизонтальные отстойники или шламовые пруды. Отстойники - рассчитывают на продолжительность пребывания в них сточных вод 1 - 2 ч. Удаление осадка из отстойников должно производиться механизировано.

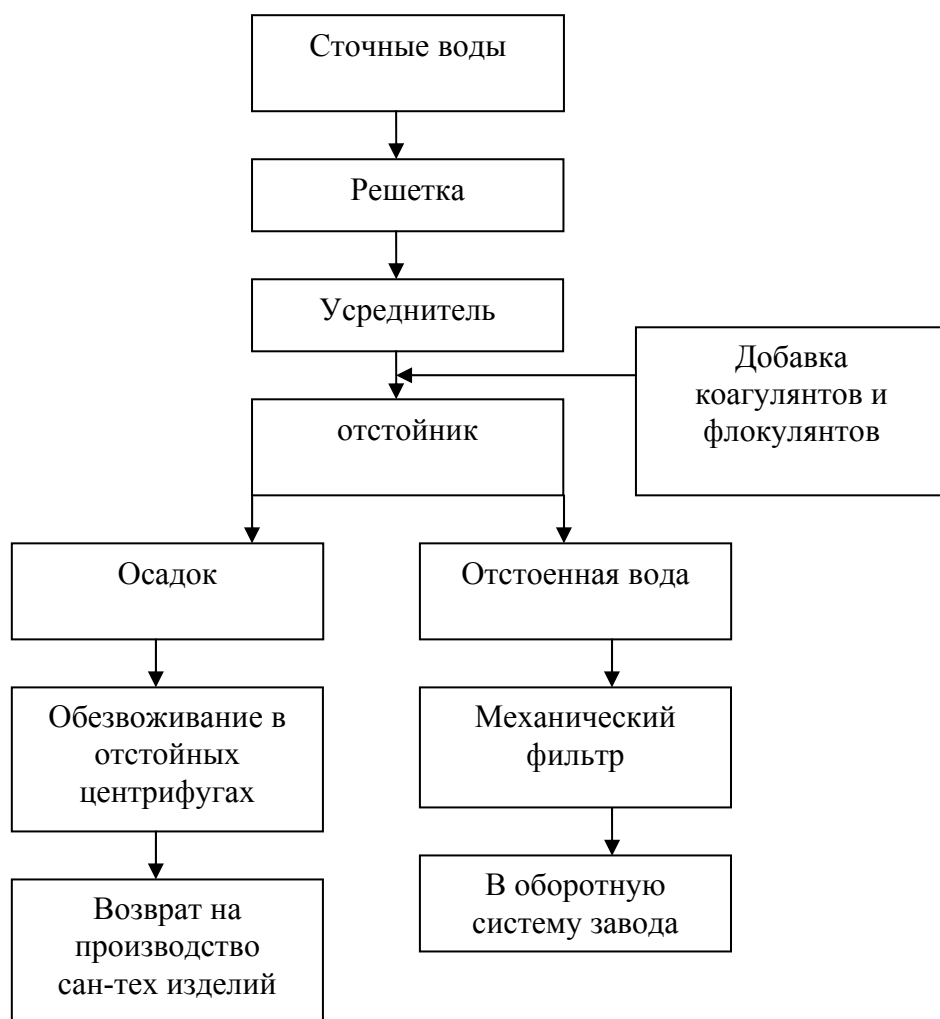
Шламохранилища проектируют по нормам проектирования гидротехнических сооружений. Чистка их, как правило, не предусматривается.

Анализ очистки сточных вод действующих предприятий по производству стекла показал, что во многих цехах и заводах, используется устаревшая техника - только горизонтальные отстойники (эффект очистки до 40 %). В то же время мало используются отстойники с тонкослойными блоками или многоярусные (устаревшее название – примечание автора) отстойники (эффект очистки до 65-70 %). Применяются устаревшие добавки реагентов – коагулянты, в основном сернокислый алюминий, который приводит к дополнительному загрязнению воды сульфатами, так как имеет большие расходы  $> 100$  мг/л.

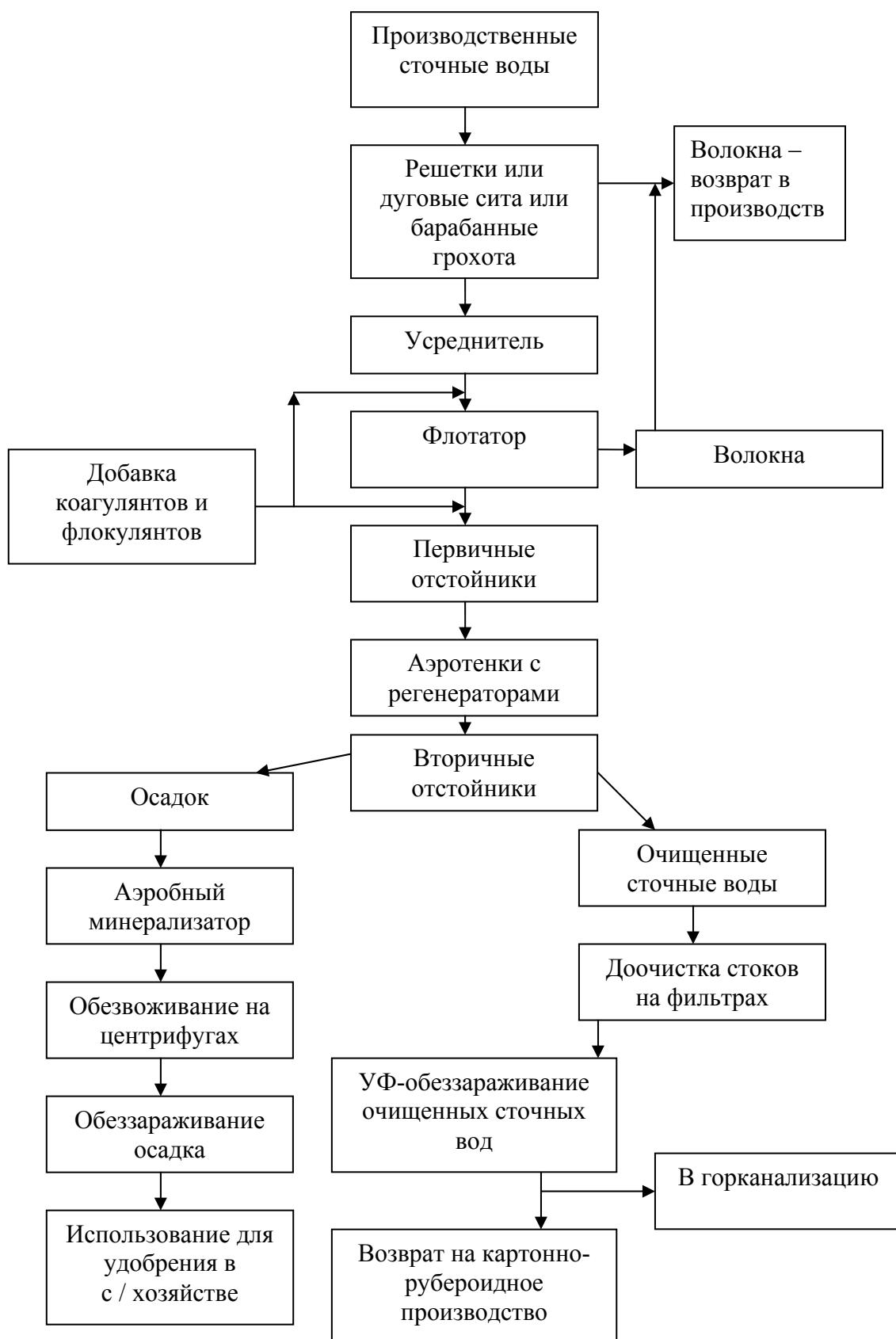
В настоящее время во многих странах на стекольных заводах применяют добавки катионактивных флокулянтов (расход от 1 до 10 мг/л). Так как во многих цехах и заводах не хватает территории для локальных очистных сооружений (отстойников), то загрязнённые воды сбрасывают в шламонакопители (за пределами завода). В этом случае можно воспользоваться гидроциклонами (эффект очистки таких вод на них 70-80 %) в одну или две ступени, они занимают небольшую площадь, имеют высокую степень очистки по взвешенным веществам и небольшую влажность шлама, достаточную для транспортирования осадка (рис.13).

На действующих стекольных заводах шлам, как правило, направляется в шламонакопители без последующего использования. Это приводит к загрязнению окружающей среды и подземных вод. Поэтому надо приводить исследования по применению шлама стекольных заводов в химической и металлургической индустрии и других отраслях.

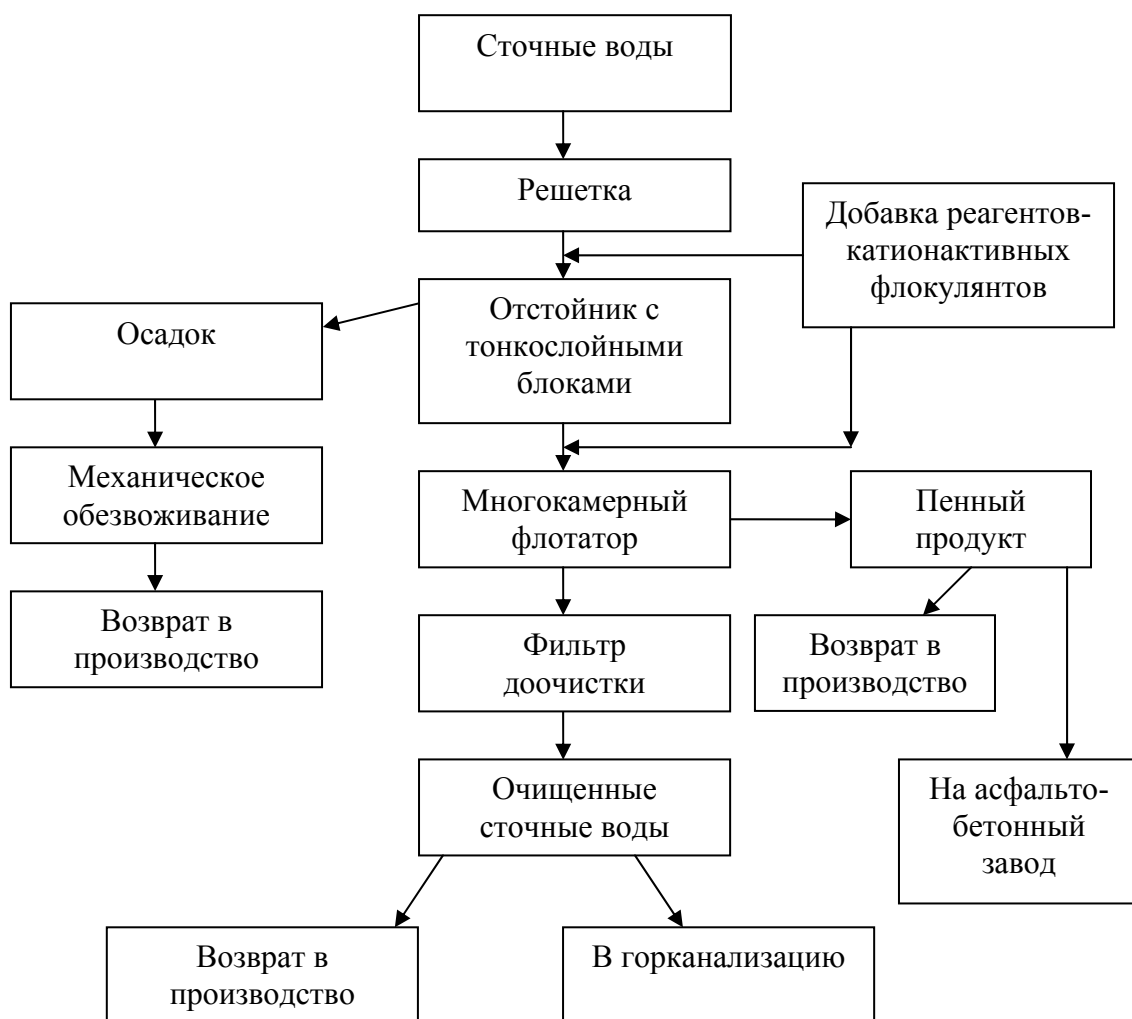
**Рис.10. Технологическая схема очистки сточных вод производства санитарно – технических изделий из фаянса.**



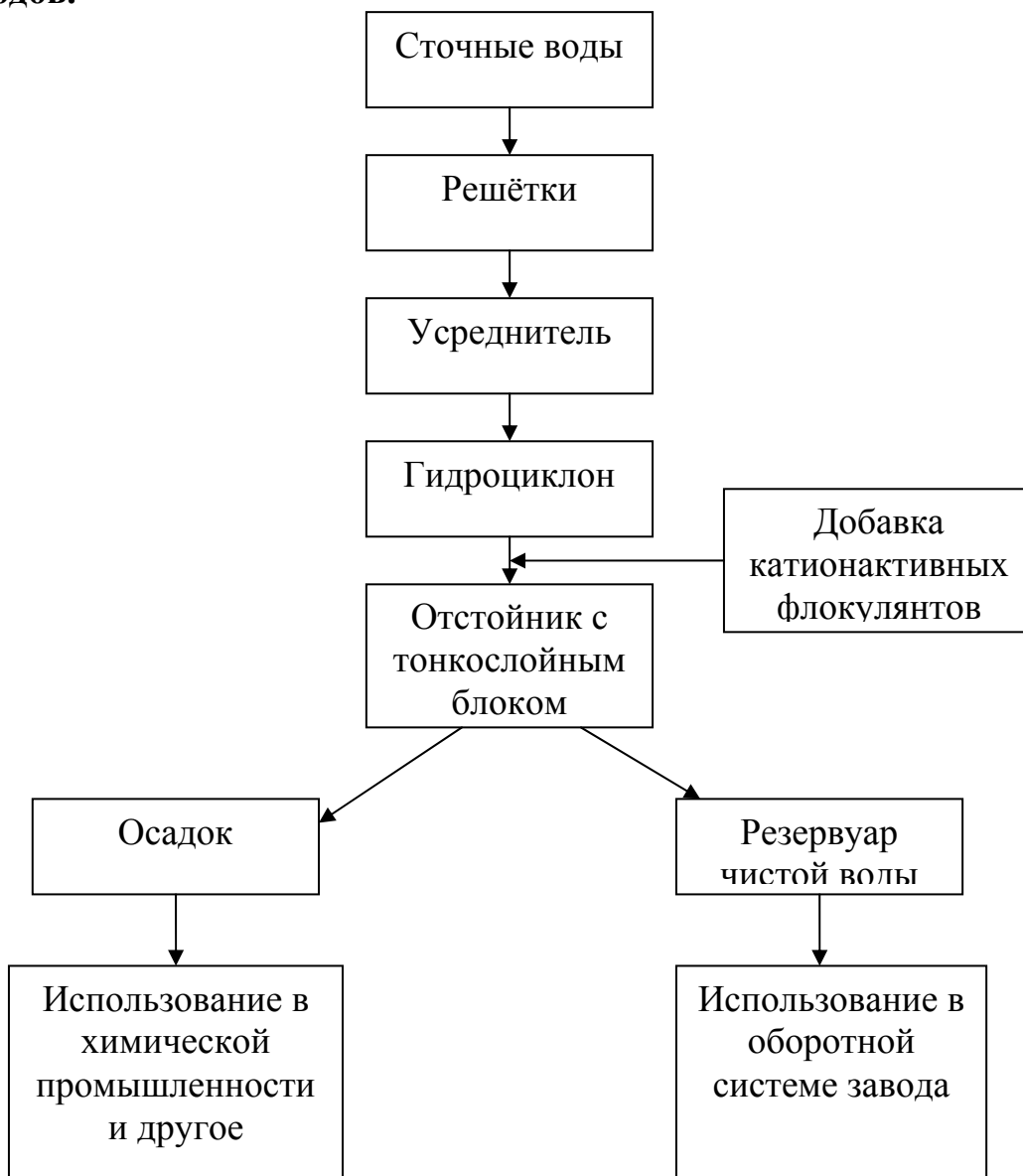
**Рис.11. Технологическая схема очистки вод картонно-рубероидных производств.**



**Рис.12. Технологическая схема очистки сточных вод производства изола, пороизола и мастик.**



**Рис.13. Технологическая схема очистки сточных вод стекольных заводов.**



### **Влияние производства стекла на загрязнение атмосферы.**

Производство стекла включает в основном следующие технологические операции: подготовку сырьевых материалов (сушка, измельчение); приготовление стекольной шихты (дозировку и смешение компонентов); варку стекломассы; выработку (формование) из нее материалов и изделий; термическую, механическую, или химическую обработку изделий для улучшения свойств.

Варка стекломассы (стекловарение) – важнейшая и самая сложная операция всего стекольного производства, производится в ваннах печей непрерывного действия, представляющих собой бассейны, сложенные из огнеупорных материалов. При нагревании шихты до 1100 .... 1150 °С происходит образование силикатов, сначала в твердом виде, а затем в расплаве.



Во время варки стекла выделяется  $\text{CO}_2$  – углекислый газ. Молекулы  $\text{CO}_2$  достаточно малы, их диаметр составляет  $\sim 0,31$  нм, что позволяет им проникать внутрь структуры цеолитов. Цеолиты – алюмосиликаты с пористой структурой и высокой емкостью поглощения. С помощью цеолитов  $\text{CO}_2$  извлекают не только из отходящих, но и из природных газов.

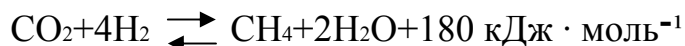
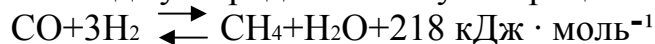
Используют этот процесс для удаления  $\text{CO}_2$  из современных экологически изолированных систем, например, из атмосферы космических кораблей.

В отличие от малотоксичного диоксида углерода его оксид  $\text{CO}$  – высоко токсичный газ: его ПДК р.з –  $20 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ ; ПДК м.р –  $3 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$  и ПДК с.с –  $1 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ . Для очистки газовых выбросов от  $\text{CO}$  используют реакцию его доокисления до  $\text{CO}_2$ .

$\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{H}_2 + 3.75 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$ ,

проводимую с использованием оксидных железных катализаторов.

Для удаления небольших остаточных (до 2% от суммы газов) количеств оксида углерода используют процесс метанирования:



## Глава 10

### Заводы и цеха по производству строительных изделий из полимерных материалов (пластмасс).

#### 10.1. Классификация полимерных веществ и материалов на их основе.

*Полимерными веществами* (от греч. «поли» – много, «мерос» – часть, частица, *polymeres* – разнообразный) называют высокомолекулярные соединения, которые состоят из элементарных (мономерных) звеньев, объединенных в макромолекулы разной структуры. [13]

*Высокомолекулярными соединениями* считаются вещества с молекулярной массой более 5000. Молекулярная масса *низкомолекулярных соединений* обычно не превышает 500, а веществ, которые имеют промежуточные значения молекулярной массы, называют *олигомерами*.

*Макромолекула является основным структурным элементом полимерных веществ*, химическое строение которой практически соответствует химическому строению главной структурной единицы – *мономеру*.

*Структура макромолекулы* отображает расположение в пространстве отдельных звеньев, обуславливается их химическим строением, длиной и распределением по длине и молекулярным массам.

Главными критериями классификации полимерных веществ являются: *химическая природа, происхождение, способ синтеза и затвердения, состав основного звена макромолекул и характер их строения, способность к пластическим деформациям при циклическом действии температурного фактора.*

По химической природе полимерные вещества разделяются на органические и неорганические. В неорганических высокомолекулярных соединениях (полимерах) атомы углерода отсутствуют, а в органических – макромолекулы состоят в основном из атомов углерода.

По происхождению различают полимерные материалы природные и искусственные. Природные полимеры, примером которых являются составляющие древесины (лигнин и целлюлоза). К природным полимерам относят так же хлопок, шерсть, кожу, каучук и др. Наиболее распространенными являются искусственные полимерные материалы, которые получают путем синтеза из простых низкомолекулярных веществ, известные как мономеры.

По способу синтеза и отвердевания органические полимерные вещества разделяются на полимеризационные и поликонденсационные.

Полимеризация – это процесс объединения молекул низкомолекулярного вещества (мономера) без выделения каких-либо побочных продуктов. Свойства полимеров и сополимеров зависят от условий полимеризации, качества исходных мономеров, примененных катализаторов (ускорителей) и других факторов. В промышленности обычно используют четыре способа полимеризации: в блоке, растворимые, эмульсии и суспензии. К высокомолекулярным соединениям полимеризационного типа относятся полиэтилен, полипропилен, поливинилхлорид и др.

Поликонденсация – это процесс получения высокомолекулярных соединений (поликонденсатов) с одновременным отщеплением низкомолекулярных продуктов реакции (воды, хлороводорода).

Поликонденсационные вещества можно получить четырьмя способами: расплавлением, растворением, с использованием твердофазовых реакций и реакций поликонденсаций. К соединениям поликонденсационного типа относят полиэферы, полиамиды, полиметилэнфенолы, полиметиленмочевина и др.

По составу основной цепи макромолекул полимерные вещества разделяются на карбоцепные, гетероцепные и элементоорганические. Карбоцепные полимеры характеризуются тем, что их молекулярные цепи целиком состоят из атомов углерода. Гетероцепные соединения в составе цепей, кроме атомов углерода, содержат атомы некоторых элементов, в том числе Гидрогена, Нитрогена, Сульфура и др.

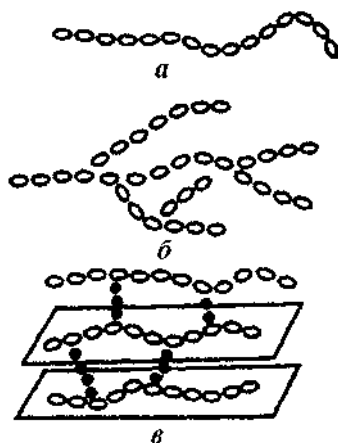
Элементоорганические полимеры могут содержать в составе главной цепи атомы Силиция, Алюминия, Титана и других элементов, которые обычно не входят в состав органических соединений.

По характеру строения макромолекул органические полимеры могут быть линейными, разветвленными и решетчатыми (трехмерными). При линейном строении атомы мономера соединяются между собой с образованием вытянутой цепи. При разветвленном строении образуются макромолекулы, которые имеют мономерные звенья, ответвленные от основной цепи. Сетчатые (пространственные) макромолекулы

характеризуются химическим «сшиванием» поперечными связями отдельных линейных или разветвленных цепей полимера.

По способности к пластическим деформациям при циклическом действии температурного фактора органические полимеры делятся на термопластические и термореактивные.

Термопластические полимеры (полиэтилен, полистирол и др.), как полимеризационного, так и поликонденсационного типа, способны к пластическим деформациям при повышении температуры, то есть, способны при нагревании размягчаться и переходить в вязкоупругое состояние. При охлаждении они затвердевают, сохраняя заданную форму. Такие преобразования могут повторяться неоднократно. Термопластические свойства могут объясняться линейным или разветвленным строением молекул и невысоким межмолекулярным взаимодействием между ними. С этим связано так же способность большинства термопластических полимеров растворяться в соответствующих средах.



Строение молекул полимеров: *а* – линейная, *б* – разветвленная, *в* – пространственная.

Термореактивные полимеры (фенолформальдегидные, карбамидные и др. полимеры) проходят стадию пластичной деформации при повышении температуры, но при этом после охлаждения в их структуре происходят необратимые изменения, которые приводят к невозможности перехода их в пластичное состояние при повторном нагревании, то есть они не могут обратно изменять свои свойства и непригодны к повторному формированию. Эти изменения структуры объясняются объединением линейных молекул в пространственные сетки. По этой же причине термореактивные полимеры преимущественно являются более теплоустойчивыми, чем термопластические.

Полимерными материалами, или пластическими массами, называют материалы, которые содержат в своем составе высокомолекулярные органические вещества – полимеры и на определенной стадии производства приобретают пластичность, которая полностью или частично теряется после затвердевания полимера.

Различают пластические массы простые, которые состоят только из полимерных веществ, и сложные, в состав которых, кроме полимера, входят и другие компоненты: наполнители, пластификаторы, стабилизаторы, отвердители, красители и т.д.

Сложные полимерные органические материалы, известные как пластмассы, можно рассматривать как композиционные, которые содержат в своем составе матрицу, образованную полимерными веществами, и армирующий компонент, представленный наполнителями разной дисперсности и добавками, предназначенными для придания специальных свойств.

Строительные материалы и изделия на основе полимерных органических соединений классифицируют по виду основного полимера, который входит в их состав, по методу производства и области применения в строительстве.

Пластмассы, в зависимости от назначения их в строительстве, разделяют на такие основные группы: материалы ограждающих и несущих конструкций; покрытие полов и отделка стен; гидроизоляционные, герметизирующие, кровельные, тепло- и звукоизоляционные материалы; трубы и другие погонные изделия; санитарно-технические изделия; лаки, краски, клеи.

Разные компоненты, которые вводят в состав пластических масс, дают возможность получать материалы и изделия с определенными свойствами. Наполнители, снижая расходы полимера, уменьшают себестоимость пластмассы, улучшая одновременно их структуру и повышая ряд технических свойств: прочность, твердость, износоустойчивость, теплоустойчивость, способность оказывать сопротивление усадке и текучести. Введение специальных веществ-пластификаторов дает возможность улучшить условия переработки полимерных композиций, снизить их хрупкость и повысить деформационные свойства. Добавки-стабилизаторы способствуют длительному сохранению свойств пластмасс во время эксплуатации, предотвращая раннее старение их под влиянием солнечной радиации, кислорода воздуха, нагревания и других неблагоприятных факторов. Отвердители ускоряют процесс затвердевания полимеров и образование пространственной трехмерной структуры. Окрашенные пластмассы получают введением в их состав пигментов и красителей. Стойкость пластмасс к возгоранию повышают антипирены. Для создания пористой структуры пластмасс используют порообразователи.

Свойства пластмасс и специфика использования их в строительстве существенно зависят от вида полимера и его соединения с другими компонентами.

Полимерные вещества изготавливают из простых химических веществ, которые получают из такого доступного сырья, как нефть, природный газ, каменный уголь, некормовые отходы от сельскохозяйственного производства и т.п.

Полимерные вещества могут находиться в жидком или твердом состоянии. Для твердых полимеров характерна аморфная или кристаллическая структура. Обычно образование кристаллов в составе полимеров сопровождается потерей их эластичности и приводит к увеличению жесткости и уменьшению способности к деформации.

К полимеризационным полимерам, широко применяемым для изготовления строительных пластмасс, относятся полиэтилен, полипропилен, полиизобутилен, поливинилхлорид, поливинилацетат, полистирол, полиакрилаты.

Полиэтилен  $[-CH_2-CH_2-]_n$ , полипропилен  $[-CH_2-CH(CH_3)-CH_2-]_n$ , полиизобутилен  $[-CH_2-C(CH_3)_2-]_n$  входят в группу полиолефинов – высокомолекулярных соединений на основе ненасыщенных углеводородов. Сырьем для них являются газы – этилен, пропилен и изобутилен, которые образуются в основном при термических и каталитических процессах переработки нефти.

Полиэтилен имеет линейную структуру молекулы, его изготавливают на установках высокого (150...300 МПа), среднего (3...4 МПа) и низкого (0,25...0,50 МПа) давления. Густота полиэтилена 0,91...0,97 г/см<sup>3</sup>, температура плавления 105...135°C, молекулярная масса 30000...60000. Для полиэтилена характерны низкая растворимость в органических растворителях и устойчивость к действию кислот, щелочей и солей, высокая водоустойчивость и механическая прочность.

Недостатками полиэтилена являются низкая теплоустойчивость, (80°C), плохая адгезия к клеям, склонность к старению и поражение грызунами.

На основе полиэтилена изготавливают трубы, фитинги, пленки, пенопласты.

Полипропилен, не уступая полиэтилену в водо- и химической устойчивости, превосходит его по теплоустойчивости и механическим свойствам. Полипропилен прозрачный, не имеет запаха. Густота полипропилена составляет 0,905 г/см<sup>3</sup>, молекулярная масса – 80000...150000, температура размягчения - 160°C.

Применяют полипропилен для изготовления пленок, листовых и плиточных облицовочных материалов, волокон для ковровых материалов, пенопластов, погонных, санитарно-технических и др. изделий. Материалы из полиэтилена и полипропилена легко сваривать и подвергать механической обработке.

Полиизобутилен – это эластичный, каучукоподобный материал с молекулярной массой 300000...500000. В отличие от каучуков полиизобутилен не способен на реакцию вулканизации. Плотность полиизобутилена составляет 0,91...0,93 г/см<sup>3</sup>, относительное удлинение – 1000...2000%. Полиизобутилен водоустойчивый, на него не действуют кислоты, щелочи, соли галоидов, полярные растворители, но он растворяется в ароматических углеводородах (бензоле, толуоле и т.п.) и минеральных маслах, набухает в жирах и растительных маслах. Высокая морозоустойчивость обусловлена низкой температурой остекления (-75°C).

Полиизобутилен в соединении с наполнителями (сажей, графитом, тальком) применяют в различных герметизирующих материалах, предназначенных для уплотнения горизонтальных и вертикальных швов в панельных строениях. Из полиизобутилена изготавливают липкие ленты, гидроизоляционные материалы и клеи.

Недостатками полиизобутилена являются повышенная ползучесть и возгораемость.

Поливинилхлорид  $[-\text{CH}_2-\text{CHCl}-]_n$  является продуктом полимеризации винилхлорида, полученного из ацетилена и хлороводорода или из дихлорэтана. Это белый порошок аморфной структуры, лишенный запаха. Плотность поливинилхлорида составляет  $1,135 \dots 1,40 \text{ г/см}^3$ , температура размягчения составляет  $80^\circ\text{C}$ , теплоустойчивость достигает  $60^\circ\text{C}$ .

Недостатками поливинилхлорида являются резкое снижение прочности при повышении температуры, ползучесть при длительном действии нагрузки и низкая морозоустойчивость.

Ценными свойствами поливинилхлорида можно считать стойкость к действию кислот, щелочей, спирта, бензина, смазочных веществ, и поэтому его широко применяют для производства труб, защитных покрытий, резервуаров. Этот полимер используют для изготовления линолеумов, гидроизоляционных и декоративных материалов, погонных изделий, ноздреватых теплоизоляционных материалов.

Поливинилацетат  $[-\text{CH}_2-\text{CHCOCH}_3-]_n$  является полимером винилацетата, который синтезируется из ацетилена и уксусной кислоты. Основной метод его получения – эмульсионный. Поливинилацетатная эмульсия – это вязкое однородное вещество белого цвета. Плотность его составляет  $1,02 \dots 1,03 \text{ г/см}^3$ , содержание твердой фазы полимера – свыше 50%. Благодаря высокой адгезии, светоустойчивости, эластичности и бесцветности поливинилацетат широко используют в производстве водостойких обоев, клеящих мастик и клеев, бесшовных мастиковых полов, а также в полимерцементных бетонах.

Полистирол  $[-\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}=\text{CH}_2-]_n$  является полимером стирола, бесцветной жидкости, нерастворимой в воде. Выпускают в виде бесцветных и цветных гранул или белого крупнозернистого порошка.

Полистирол – твердый, упругий, бесцветный и прозрачный полимер плотностью  $1,04 \dots 1,10 \text{ г/см}^3$ , молекулярной массой  $50000 \dots 300000$ . Полистирол водостойкий, хорошо оказывает сопротивление действию концентрированных кислот (кроме азотной и ледяной уксусной), щелочей. Для полистирола характерна высокая прозрачность, он пропускает до 90% солнечных лучей видимой части спектра.

Основные недостатки полистирола – его хрупкость и плохая устойчивость к действию ряда органических растворителей.

Из полистирола изготавливают пенопласты, облицовочные плитки и т.п. Сополимеризацией стирола с каучуком получают удароустойчивый полистирол.

Полиакрилаты – это полимеры акриловой и метакриловой кислот и их производных. Они бесцветные, свето- и атмосфероустойчивые, прозрачные, плотность их составляет  $1,2 \text{ г/см}^3$ , температура размягчения –  $80 \dots 100^\circ\text{C}$ .

Из полиакрилатов в строительстве наибольшее распространение получил метилметакрилат – органическое стекло, которое пропускает свыше 99% солнечного света и способно пропускать до 70% ультрафиолетовых лучей (в отличие от обычного стекла). Полиметилметакрилат используют для застекления теплиц, оранжерей, бассейнов, а также в виде эмульсий для красок, лаков и т.п.

Промышленность выпускает много поликонденсационных полимеров. Некоторые из них применяют в строительстве как конструкционные и облицовочные пластмассы, эффективные теплоизоляционные материалы, композиции для устройства монолитных покрытий полов, гидрофобизирования и т.п.

Фенолоальдегидные полимеры - это продукты поликонденсации фенола и альдегида (формальдегида, фурфурола и тому подобное). Для изготовления строительных материалов широко используют резольные фенолформальдегидные полимеры, их применяют как связующее вещество в производстве древесно-стружечных плит, сотовых, минераловатных матов, газонаполненных материалов, спиртных лаков, клеил и тому подобное. Из пресс-порошков формальдегидных полимеров методом горячего прессования изготавливают профили, розетки, вентиляционные решетки и другие архитектурные детали.

Материалы, изготовленные на основе этих полимеров, имеют высокую прочность, жесткость и есть тугоплавкие.

Аминоальдегидные полимеры - это продукты поликонденсации аминов (мочевина, меламин) с альдегидами. Их изготавливают в виде водных растворов и эмульсий. Утверждаются они минеральными и органическими кислотами.

Аминоальдегидные полимеры используют в производстве отделочных, теплоизоляционных пластмасс, слоистых пластиков и клеев. Материалы на их основе характеризуются высокой твердостью, прочностью, тепло- и светостойкостью, отличными эстетическими свойствами.

Эпоксидные полимеры - это продукты поликонденсации эпихлоргидрина с дифенил-пропаном. Переход вязкоредкого полимера в твердое состояние достигается с помощью отвердителей при нормальной и повышенной температурах. Эпоксидным полимерам свойственна высокая адгезия к разным строительным материалам, незначительная усадка, высокие крепостные показатели крепости.

Эпоксидные полимеры используют для изготовления водо- и химически стойких клеев, для склеивания и ремонта бетонных и металлических конструкций, как связующий компонент для стеклопластиков, полимербетонов и для устраивания бесшовных полов с высокой износостойкостью и химической стойкостью.

Полиуретан - это продукты поликонденсации изоцианатов и многоатомных спиртов, что содержат две и больше гидроксильных групп. Линейный полиуретан применяют для изготовления пенопласта, волокон, пленок, листовых материалов, которые выдерживают высокую влажность и температуру до 110°C. Имея ряд ценных свойств, эти материалы пожаробезопасные, и поэтому их используют в сочетании с неорганическими наполнителями или в конструкциях, защищенных от огня.

Полиэфирные - это группа полимеров, образованных при поликонденсации многоосновных кислот со спиртами. Распространенность сырья и относительная дешевизна дают возможность применять полиэфирные полимеры для изготовления стеклопластиков, светопрозрачных и цветных покрытий, санитарно-технических изделий, фасадных красок и лаков. Рабочая температура при эксплуатации полиэфирных пластмасс составляет -30...+80°C.

Кремнийорганические полимеры (или силикон) - это полимеры, которые содержат кремний. Мономерами для них являются соединения, получаемые взаимодействием кремния с хлоридом метила и этилом. Кремнийорганические полимеры характеризуются высокой теплостойкостью (> 400°C), а также водостойкостью, гидрофобностью, химической стойкостью, морозоустойчивостью. Недостатками их являются невысокая механическая прочность и слабая адгезия относительно других материалов.

Кремнийорганические полимеры применяют для изготовления защитных и жаростойких покрытий, гидрофобизирующих веществ, клей, эмалей, красок, герметиков, пенопласта, стеклопластиков и тому подобное.

### **Основные свойства полимерных материалов (пластмасс)**

Сравнительно с известными традиционными строительными материалами (керамика, древесина, металлы) полимерные материалы появились относительно недавно (первая четверти XX ст.), но крепко заняли ведущие позиции и до сих пор остаются перспективными благодаря высокой экономичности, технологичности и возможности совмещения в конструкциях с другими материалами.

От других строительных материалов полимерные материалы выгодно отличаются многими показателями, которые определяют условия рационального применения их в строительстве. Принципиальное значение имеют неисчерпаемые возможности регуляции и программирования свойств пластмасс.

Свойства пластмасс относительно действия воды зависят от их структуры и степени гидрофильности. Водопоглощение плотных, гидрофобных полимерных материалов составляет 0,1...0,5%, а высокопористых (с гидрофильными наполнителями или открытой пористостью) - 30...90% по объему. Благодаря высокой непроницаемости полимерные пленочные и рулонные материалы, а также мастики, особенно на основе полиэтилена, поливинилхлорида, синтетических каучуков, широко применяют для гидроизоляции.



Пластмассы - плохие тепло - и электропроводники, поэтому их используют как теплоизоляционные материалы и диэлектрики.

Химическая стойкость - важное свойство пластмасс, что зависит не только от полимера, но и от наполнителя, пластификатора и других компонентов.

Чаще всего пластмассы используют для защиты от коррозии строительных конструкций в воде, растворах солей, кислот и других агрессивных средах. Высокая химическая стойкость, непроницаемость для воды определяют широкое применение их для защитных покрытий, гидроизоляции зданий и сооружений, устраивание кровель, трубопроводов.

Ценным свойством многих пластмасс является низкая истираемость, которую необходимо учитывать при применении пластмасс для устраивания полов. Важной характеристикой некоторых пластмасс является высокое сопротивление удару (ударная вязкость).

Высокая прозрачность, бесцветность, способность пропускать ультрафиолетовые лучи - ценные свойства некоторых пластмасс. Это дает возможность применять их в светопрозрачных ограждающих конструкциях зданий и сооружений, например в куполах верхнего света, ограждение теплиц, оранжерей, лечебных заведений.

Пластмассы имеют высокие декоративные качества, что дает возможность использовать их для снаряжения стен и покрытия полов. Пластмассы не нуждаются в периодическом окрашивании поверхности. Введением в состав исходной композиции красителей или пигментов можно получить материал какой-нибудь расцветки и оттенков, в том числе многоцветные имитации естественного камня, ценных пород деревьев, кожи, ткани, металла.

Рядом с комплексом позитивных свойств пластмассы имеют и ряд негативных. Для большинства пластмасс характерна низкая теплостойкость, которая не превышает 60...80 °С, и только некоторые виды пластмасс имеют теплостойкость 200...350°С. Много пластмасс являются горючими материалами, выделяют ядовитые газы при горении, легко вспыхивают. При переработке пластмасс и эксплуатации их в середине помещений нередко выделяются токсичные вещества, поэтому применение полимерных материалов возможно лишь после установления степени их токсичности.

Значительным недостатком пластмасс является высокий температурный коэффициент линейного расширения. Например, для полиэтилена он равняется  $(160...230) \cdot 10^{-6} \cdot K^{-1}$ , что в 10 раз выше, чем стали. Большие значения температурного коэффициента линейного расширения пластмасс в сочетании с малой теплопроводностью определяют значительные остаточные внутренние напряжения, которые могут повлечь появление трещин в строительных изделиях при резких изменениях температуры.

Пластмассы отличаются высокими диэлектрическими свойствами. Они способны аккумулировать статическое электричество на поверхности. Результатом электризации является притягивание пыли поверхностью

пластмасс, а также образования электростатического заряда, что негативно влияет на человека. Для предотвращения этому явлению в состав пластмасс вводят антистатические добавки.

Отдельные виды пластмасс склонны к старению, то есть их свойства под воздействием теплоты, света, кислороду воздуха со временем ухудшаются. Для обеспечения высокой стойкости пластмасс к старению важное значение имеют правильный выбор исходного сырья, ее чистота и технологические параметры производства.

Специальные свойства полимерных материалов и изделий влияют на выбор отраслей их применения. Применение полимерных материалов позволяет снизить материалоемкость строительства, расширить архитектурные возможности, изменить вид интерьеров, широко внедрять индустриальные методы ведения строительных работ, заменять дефицитные традиционные строительные материалы.

## **10.2. Технология изготовления строительных полимерных материалов.**

Главным преимуществом пластмасс сравнительно с другими материалами является их высокая технологичность. Они легко поддаются механической обработке, склеиваются. Технологические процессы производства пластмасс, как правило, механизированы и автоматизированы.

Особенности технологических процессов изготовления полимерных материалов зависят от их состава и назначения.

Изготовление полимерных материалов и изделий предусматривает подготовку сырьевых компонентов, их дозирование, смешивание, формирование и стабилизацию.

Изделия изготовляют вальцовкой (каландрированием), экструзией, прессованием, литьем под давлением, термоформованием, сваркой, склеиванием, контактным и промазным способами и тому подобное. Ноздреватые теплоизоляционные материалы изготовляют вспениванием и порообразованием.

Вальцовка - это операция, при которой масса формируется в зазоре между валами, что вращаются. При прохождении сквозь валы компоненты массы сжимаются, раздавливаются и растираются, поскольку валы могут вращаться с разной скоростью.

Этот метод переработки позволяет получить бесконечное полотно заданной ширины и толщины и используется для изготовления рулонных, пленочных и листовых полимерных материалов из композиций термопласта.

Каландрирование - процесс образования бесконечной ленты определенной толщины и ширины из размягченной полимерной смеси, которую один раз пропускают сквозь зазор между валами. Как правило, каландрирование выполняют в комплексе с вальцовкой в одной технологической линии.

Экструзия - это процесс, при котором изделиям предоставляют определенного профиля, продавливая нагретую массу сквозь формообразующее отверстие (мундштук).

Применяют экструзийные машины двух типов: шнеку и шприц - машины. В экструдер массу подают в виде гранул, бисера или порошка. Размягчают за счет тепла, которое поступает от специально установленных нагревателей.

**Прессование** - способ формирования изделий в прессформах, которые нагреваются.

Этот способ используют для изготовления изделий на основе термореактивных полимеров. Различают формирование в прессформах - при изготовлении изделий из пресс-порошков (строительная фурнитура, оконные и дверные приспособления, санитарно-техническое оборудование) и прессования с использованием многоэтажных прессов - при изготовлении листовых бумажных и древесных слоистых пластиков, фанеры, древесностружечных плит, текстолитов.

Литье бывает двух видов: обычное в формы и под давлением. При обычном литье жидкую композицию или расплав заливают в формы, после чего она твердеет в результате реакций полимеризации и поликонденсации. Таким способом формируют плитки для пола с реактопластов, получают органическое стекло и декоративные изделия с полиметилметакрилата.

Литье под давлением применяют при изготовлении изделий с термопластов. Полимер нагревают к вязкотекучему состоянию и плунжером впрыскивают в разборную форму, которую охлаждают водой. Таким способом изготавливают изделия из полистирола, эфиров целлюлозы, полиэтилена, полиамидов. Этот вид литья отличается от обычного скоростью цикла, а также возможностью автоматизации всех технологических операций.

Термоформованием называют переработку листовых, пленочных, трубчатых пластмассовых заготовок с целью предоставления им более сложной формы и получения готовых изделий. К главным методам термоформования относят штампование, пневмоформование и вакуум-формование.

При штамповании из листов вырезают заготовки, их нагревают, размещают в пресс-форме между матрицей и пуансоном и формируют под давлением до 1 МПа. Так изготавливают детали канализационных систем с винипласта, детали покрытия промышленных зданий, профильные детали из текстолитов и тому подобное.

При пневмоформовании, лист закрепляют по контуру матрицы и нагревают к слабому провисающему, потом нагретым воздухом, сжатым до 7...8 МПа, притискивают лист к поверхности матрицы.

Разновидностью этого способа является свободное выдувание. Такими способами изготавливают колпаки освещения, детали вентиляционных систем с полиакрилатов, поливинилхлорида.

При вакуумном формировании лист закрепляют по контуру полый формы, нагревают и образуют разжижение в полости.

Под воздействием атмосферного давления лист прижимается к поверхности формы.

Таким способом изготавливают детали санитарно-технического оборудования из ударостойкого полистирола, полиакрилатов, виниловых полимеров.

Разновидностью термоформирования является контактное формование, которое используют для изготовления крупногабаритных нестандартных изделий сложной конфигурации.

Сварка и склеивание - применяют для соединения между собой отдельных заготовок пластмасс при изготовлении изделий необходимой формы. Сварку используют для соединения пластмасс (полиэтилена, поливинилхлорида, полиизобутилена и тому подобное) термопласта, а также термореактивных. По способу нагревания деталей, что соединяют, сварка может быть воздушной (нагретым воздухом), высокочастотной, ультразвуковой, радиационной, контактной.

Склеивание применяют для соединения, как и термоактивных пластмасс, так и термопласта. В самом простом случае клеем для пластмасс термопласта может быть органический растворитель или специальные клеи.

В зависимости от условий производства и необходимой скорости процесса применяют клеи холодного или горячего твердеет.

**Напыление** - это способ нанесения на поверхность строительных изделий и конструкций порошковидных полимеров, которые, расплавляясь, прилипают к ней, а при охлаждении образуют крепкое покрытие. Различают газопламенное, вихревое и псевдожидкое напыление. Напыление используют для получения декоративных, антикоррозийных и антифрикционных покрытий.

Кроме приведенных методов переработки пластмасс, применяют много других высокопродуктивных механизированных и автоматизированных методов.

Современная технология переработки пластмасс дает возможность изготавливать монолитные конструкции с большими прогонками, например купольные, которые получают послойным напылением стеклопластиковой оболочки и пенопласта на пневмоопалубка.

### **10.3. Характеристика строительных материалов на основе полимерных веществ.**

**Материалы для покрытия полов.** Покрытия полов из полимерных материалов гигиенические, эластичные, износостойкие, тепло- и звукоизоляционные, долговечные и, в сочетании с возможностью индустриализации строительных работ, достаточно эффективные.

Почти 70% общего выпуска полимерных материалов для полов составляют поливинилхлоридные линолеумы.

**Линолеумы** (ДСТУ бы А.1.1.-18-94) - это рулонные материалы, которые изготавливают на основе поливинилхлоридных, алкидных, резиновых и других полимеров. Они предназначены для устраивания покрытий полов в жилищных, общественных и некоторых промышленных зданиях.

Применение покрытий из линолеума в 5...7 раз сокращает длительность работ сравнительно с настилкой досочных и паркетных полов. Изготовлены из высококачественных материалов согласно со всеми требованиями технологии, они могут эксплуатироваться 20...25 годов. Линолеумы выпускают без подоплеки, а также на тканевой, войлочной и других видах подоплеки. Безосновные линолеумы выпускают однослойными и многослойными. Они могут иметь разную поверхность: цветную, гладкую и блестящую, с узором, блестящую и матовую.

В состав массы однослойного линолеума входят: суспензионный поливинилхлорид - 40...45%; пластификатор дибутилфталат - 17...23%; стабилизатор - 0,5...1,0%; наполнители - 19...35%; пигменты - 5...15%.

Стабилизируют полимер стеаратами кальция и бария. В многослойных линолеумах в состав массы для лицевого слоя обычно вводят в 2...3 раза больше полимерного вяжущего вещества и соответственно меньше наполнителей, чем для нижних слоев.

Для изготовления промазного линолеума используют эмульсионный поливинилхлорид, склонный к пастообразованию. Как подоплеку применяют льяные, джутовые ткани и нетканую войлочную подкладку.

К современным разновидностям утепленных линолеумов на звукоизоляционной основе можно отнести поливинилхлоридные многослойные покрытия, которые состоят из слоя поливинилхлоридной пленки, укрепленного армирующей прослойкой стеклоткани на иглопробивной волокнистой основе. Иногда используют дополнительные слои каландровых пленок с многокрасочным печатным узором. Такие рулонные покрытия могут быть применены в помещениях жилищных и общественных зданий без ограничений, кроме путей эвакуации.

**Поливинилхлоридный линолеум** (ДСТУ Б В.2.7-20-95; ДСТУ 2.7-21-95) изготавливают в виде полотнищ; приклеивают к основе битумными и другими мастиками. Применяют его также в виде сварных ковров на всю площадь пола помещения.

**Резиновый линолеум** (релин) (ГОСТ 16914) изготавливают из резиновых смесей на основе синтетических каучуков. Релин - это дво - или трехслойный рулонный материал. Он характеризуется низким водопоглощением, высокой износостойкостью, эластичностью, свето - и цветостойкостью, кислото - и щелочестойкой, звукопоглощением.

Перспективными для покрытия полов в жилищных и общественных зданиях являются синтетические ковровые материалы (ГОСТ 4.18; ГОСТ 28415; ГОСТ 28867). Это, как правило, - нетканые материалы ворсовой или войлочной структуры (ворсолин и ворсонит).

Рулонные ковровые материалы, изготовленные из износостойких синтетических (полиамидов, полипропиленовых) или смешанных волокон, применяют как покрытие для полов с высокими диэлектрическими и комфортными характеристиками.

Недостатком таких материалов является сниженная гигиеничность, что ограничивает их применение.

Плитки для полов (ГОСТ 16475) изготавливают из поливинилхлорида, инденкумароновых полимеров, каучуков, регенерируемой резины и фенопластов. Сравнительно с рулонными материалами плитки имеют лучшее сцепление с основой, создают нужный узор пола; легко заменяются во время ремонта, при укладке не дают отходов, удобные в транспортировке. Плитки можно также вырубать из кусков линолеума, которые выбракуют. Однако полы из плиток менее гигиенические и более трудоемкие, а кроме того, могут иметь меньшую долговечность, чем бесшовные полы, через наличие большого количества стыков.

Кроме рулонных и плиточных, для устраивания полов применяют мастики (ГОСТ 4.54), которые наносят поливкой или распиловкой на разные основы, преимущественно бетонные, со следующим отверждением при комнатной температуре. Наливные полы из мастиковых материалов гигиенические и удобные в эксплуатации, технологические.

Как полимерные связующие, содержание которых в мастиковых покрытиях полов не менее как 50%, применяют водные дисперсии полимеров - поливинилацетата и латексов, сополимеры винилацетата с этиленом, полиакрилонитрила. Используют также жидкие термореактивные олигомеры: фенолформальдегидные, карбамидные, полиэфирные, эпоксидные, фурановые и их модификации.

При введении специальных наполнителей или других добавок, можно создавать теплоизоляционные, пылеотталкивающие, бактерицидные, диэлектрические, рентгенонепроницаемые и другие полы.

Примером бесшовных мастиковых полов являются полы на основе эпоксидно-сланцевых композиций.

Такой пол стойкий к действию воды, щелочей, кислот, органических растворителей, атмосферных факторов, а также водонепроницаемый. Кроме того, эпоксидно-сланцевая композиция может быть применена при устраивании антикоррозийных покрытий для защиты металлических, бетонных и других поверхностей; при выполнении внутренней и внешней гидроизоляции бетонных и металлических конструкций и герметизации швов и стыков.

Асбестоцементные трехслойные панели обрамляют деревянными, фанерными или стальными профилями, которые соединят с обшивками клеевинтовыми соединениями.

Панели с алюминиевыми обшивками и средним слоем из поливинилхлоридного пенопласта обрамляют алюминиевым швеллером, который скрепляют с обшивками клеезаклепочным или клеесварным соединением.

Деревнослоистые пластики (ДСП) (ГОСТ 20966) - это листовые и плиточные материалы, изготовленные горячим прессованием пакетов и листов из древесного шпона, пропитанных полимером. Вяжущими веществами для ДСП, является резольные фенолформальдегидные или фенолокарбамедно-формальдегидные полимеры.

Для пропитки шпон используют растворы полимеров разной концентрации (28...55%).

Стеклопластики (ГОСТ 27389) - это конструкционные композиционные материалы, которые содержат как наполнитель стекловолоконистые материалы, связанные синтетическими полимерами. Совместная работа стеклонаполнителя и синтетического связующего вещества обеспечивает стеклопластикам ударную прочность, стойкость к атмосферным и химическим влияниям, высокие тепло -, электро - и звукоизоляционные свойства.

В зависимости от вида и размещения наполнителя различают стеклопластики на основе ориентированных волокон (СВАМ - стекловолоконистый анизотропный материал), рубленых волокон, тканых и нетканых стекловолоконистых материалов, а вяжущим веществом у них являются модифицированные полиэфирные, фенолформальдегидные и эпоксидные смолы.

Стеклопластики пропускают при толщине до 1,6 мм, в том числе до 30% ультрафиолетового спектра солнечных лучей. Их используют: в виде плоских и волновых листов для устраивания светопрозрачной кровли.

Полимербетоны - это композиционные материалы, которые получают в результате затвердения смеси, что состоит из полимерного связующего вещества, минеральных заполнителей и наполнителей. Как полимерный компонент применяют фурановые, эпоксидные, фенолформальдегидные и полиэфирные смолы. К минеральным наполнителям принадлежат порошки с размером частиц менее как 0,16 мм, к заполнителям - песок с размером зерен до 5 мм и щебня с размером зерен до 50 мм. Полимеррастворы не имеют в своем составе крупного заполнителя - щебня.

Основные свойства полимербетонов определяются химической природой полимерного компонента, видом и содержанием наполнителей и заполнителей.

Наивысшие физико-механические свойства имеют полимербетоны, полученные на основе эпоксидных смол. Однако высокая стоимость и дефицитность эпоксидных полимеров ограничивает их применение. Обычная затрата связующего вещества 100...200 кг на 1 м<sup>3</sup> бетона при отношении связующего вещества к минеральной части бетона 1:5...1:12 за массой. Наиболее распространенные полимербетоны на фурановых смолах, которые утверждаются добавкой сульфокислот.

Наиболее водостойкие полимерные бетоны получают при использовании эпоксидных смол. Полимербетоны имеют высокую износостойкость, кавитационную и химическую стойкость. Ударная прочность полимербетона на фурановых смолах у 4...6 раз выше, чем у цементных бетонов.

Полимербетоны хорошо склеиваются с цементным бетоном, прочность сцепления (адгезия) приближается к прочности на разрыв цементного бетона. Полимербетоны можно усиливать армированием.

Одним из направлений использования полимеров и мономеров является модификация свойств бетонов с помощью их пропитки. Чтобы

изменить структуру и свойства бетонов, применяют жидкие мономеры (метилметакрилат или стирол) и полимеры (эпоксидные и полиэфирные смолы) и разные композиции на их основе. Глубина пропитки 1...20 см. Для полной пропитки плотного бетона нужно 2...5% мономеру за массой (4...10% по объему). Пропитанные бетоны называют бетонополимерами.

Полимерные бетоны и бетонополимеры следует рассматривать как бетоны специального назначения, которые отличаются повышенной коррозионной стойкостью, морозоустойчивостью, прочностью и износостойкостью.

#### **Отделочные материалы (ДСТУ Б А. 1.1-28-94; ГОСТОВ 4.230).**

Материалы для снаряжения стен - самая широкая группа полимерных украшающих материалов: листовых, плиточных, рулонных, лакокрасочных, профильно-погонажных и тому подобное. Среди плиточных и листовых материалов для снаряжения распространенные декоративный бумажно-слоистый пластик (ДППИП), листы и плитки из полистирола и поливинилхлорида

#### **Декоративный бумажно-слоистый пластик (ГОСТ 4.229)**

изготавливают горячим прессованием пропитанной полимерами специальной бумаги. Поверхность пластика может быть одно - и многоцветной, глянцевой, матовой, имитировать древесину и камень.

Полистирольные плитки изготавливают квадратными, а также прямоугольными и фризowymi.

Метод изготовления - литье под давлением. Сырьем для их производства является эмульсионный полистирол и тонкомолотые минеральные наполнители. Лицевая поверхность плиток бывает гладкой и блестящей, глянцевой, полуматовой или равномерно окрашенной. На обратной стороне плиток по периметру есть бортики та рельефная сетка.

Полистирольные листы для индустриального снаряжения стен изготавливают методом экструзии из ударостойкого полистирола. Крупноразмерные листы используют для облицовки стен помещений общественных зданий.

Рулонные полимерные материалы для внутреннего снаряжения стен, потолков и встроенной мебели разделяют на пленочные, линкруст, текстовинит и влагостойкие обои.

**Поливинилхлоридные пленки (ГОСТ 16272; ГОСТ 10354; ГОСТ 12998)** - это большая группа рулонных отделочных материалов, широко применяемых в современном жилищно-общественном строительстве для отделки стен, мебели и других поверхностей.

Пленки изготавливают из пластифицированного поливинилхлорида одноцветным и с многоцветным печатным узором, гладкими и блестящими и рельефными.

Различают пленки безосновные, с клеевым слоем, на бумажной и тканевой основе. Пленки на звукоизоляционной основе используют для снаряжения помещений с повышенными акустическими требованиями.



Линкруст (ГОСТ 5724) - разновидность пленок на бумажной основе. Изготавливают его нанесением на бумагу пасты из поливинилхлорида или другого полимера, к которому добавляют муку из древесины или из ее коры. Он имеет рельефный рисунок. Наклеив линкруст на стены, его обычно закрашивают масляными или синтетическими красками.

Текстовинит принадлежит к рулонным материалам на тканевой основе. Его изготавливают нанесением пасты, которая состоит из поливинилхлорида, пластификатора и минеральных пигментов, на хлопковую ткань со следующим тиснением и термообработкой.

Применяют текствинит для снаряжения панелей стен и оббивка дверных полотнищ жилищных и общественных зданий.

Близкие к текстовиниту павинолы (искусственные кожи) (ГОСТ 4.116; ГОСТ 23367), их применяют в производстве мебели, для высококачественного акустического снаряжения стен, устраивания раздвижных перегородок и тому подобное.

**Гидроизоляционные, кровельные и герметизирующие материалы.** Общим признаком гидроизоляционных, кровельных и герметизирующих материалов является водо- и паронепроницаемость, трещиностойкость, водо- и атмосфероустойчивость.

Из полимерных материалов для гидроизоляции особенно широко применяют пленки, мастики, лаки и краски (ДСТУ Б А.1.1-29-94; ДСТУ Б В.2.7-77-98; ДСТУ Б В.2.7-78-98; ДСТУ Б В.2.7-79-98; ДСТУ Б В.2.7-106-2001).

Полиэтиленовые пленки специального назначения для потребностей строительства используют в конструкциях покрытий для защиты подкровельного пространства от пыли, дождя и снега.

При применении паропроницаемых пленок благодаря микроперфорации сквозь них вентилируется водяная пара, что проникает в теплоизоляционный слой кровельной конструкции.

Для предупреждения конденсации влаги из пара, что поднимается из подкровельного помещения, используют многослойные пленки, верхний и нижний слои которых ламинируемы и обеспечивают гидроизоляционные свойства та паронепроницаемость материала, а тканевую прослойку - необходимую прочность. Пленки предназначены для наклонных кровель, которые вентилируются. Например, паронепроницаемая защитная армированная пленка «паробарьер» используется как защитный слой из внутренней стороны теплоизоляции подкровельного пространства, а также для образования паронепроницаемого слоя с внутренней стороны теплоизоляции в случаях внутреннего утепления внешних стен зданий. Разновидностью такой пленки является паронепроницаемая подкровельная пленка «паробарьер-Ал», что представляет собой четырехслойный материал, который имеет несущую сетку для армирования. Эта сетка с обеих сторон ламинируема полиэтиленовой пленкой, как нижний слой используется отражающая алюминиевая фольга.

Строительной герметикой называют материалы, основное назначение которых - уплотнение стыков между разными конструкциями и панелями зданий с целью предоставления им водо -, паро - и воздухонепроницаемой. Герметичность стыков обеспечивается лишь тогда, когда для их уплотнения применены материалы, способные деформироваться вместе с деформацией стыка. Герметика должна быть также тепло- и морозоустойчивыми, удобными во время уплотнения стыков, иметь способность сохранять свои свойства на протяжении всего срока службы здания. Наилучше этим требованиям отвечают герметизирующие материалы на основе полимеров. В зависимости от способа уплотнения стыка герметики можно разделить на пористые прокладки, профилируемые уплотнители, мастики и обклеивающие пленки.

Достаточно распространенным герметиком, является силиконовый (кислотный, нейтральный), акриловый, полиуретановый, битумный, каучуковый, полисульфидный, полибутановый. Кислотная и нейтральная силиконовая герметика является диэлектрикой, которая отличается от других термостабильной, высокой адгезией и повышенной химической стойкостью.

Кислотную силиконовую герметику разделяют на универсальные и санитарные. Они на протяжении длительного времени хранят эластичность, имеют высокую влагу - и атмосферостойкость, выдерживают колебание температур от  $-60^{\circ}\text{C}$  до  $200^{\circ}\text{C}$ , практически не имеют усадки, стойки к действию ультрафиолетовых лучей. Санитарный герметик содержит в своем составе антисептику, и поэтому его целесообразно использовать в кухнях, сантехнических помещениях, прачечных, складских помещениях.

Нейтральный силиконовый герметик имеет высокую адгезию к непористым поверхностям, является безусадочным и его можно использовать в каких-нибудь помещениях и на каких-нибудь поверхностях, кроме мрамора. Такой герметик применяют при изготовлении стеклопакетов, для ремонта термошвов.

Акриловый герметик имеет низкую водостойкость, усадка от 1 до 15%, низкая стойкость к действию ультрафиолетовых лучей. Поэтому его применяют только для внутренних работ.

Полиуретановый герметик характеризуется высокой прочностью, износостойкостью, стойкостью к действию кислот, масел, бензина, имеет высокую адгезию к стеклу металлов, керамики. Применяют его в дорожном строительстве, для уплотнения стыков конструкций подземных переходов, тоннелей.

Битумный герметик очень эластичен, имеет высокую водостойкость и водонепроницаемость и адгезию к битумным материалам, бетону, камню, древесине, металлам стекла. Применяется для потребностей дорожного строительства, герметизации щелей и швов кровли.

Каучуковый герметик имеет высокую эластичность, стойкий к разтягивающим напряжениям, действию ультрафиолетовых лучей и другим атмосферным факторам, в том числе и колебаниям температуры от  $-25^{\circ}\text{C}$  до  $+100^{\circ}\text{C}$ . После затвердения его можно красить. Кроме того, такой герметик

имеет высокую адгезию к бетону, стекла, керамика, естественного камня, древесины. Поэтому его достаточно широко применяют в строительстве кроме случаев, когда соединенные элементы находятся под постоянным давлением воды.

**Теплоизоляционные материалы.** Полимерные теплоизоляционные материалы классифицируют за структурой, формой, видом основного сырья, средней плотностью, теплопроводностью и сжимаемостью. (ГОСТ 16381).

Полимерные материалы, которые имеют ноздреватую структуру, которая может быть представлена системой изолированных пор, называют пенопластом, соединенных пор - поропластами, а регулярно повторяемых полостей - сотопластами. Такое деление пористых пластмасс является условным, поскольку обычно не удается получить материалы с одним типом пор.

Промышленность выпускает разнообразные за формой теплоизоляционные материалы: рулонные, искусственные, сыпучие и шнуровые.

Для строительной теплоизоляции применяют жесткие пластмассы,

К жестким пластмассам можно отнести теплоизоляционные плиты, примером которых являются плиты «Пеноплекс», изготовленные методом экструзии из пенополистирола .

Применяют плиты «Пиноплекс» для теплоизоляции полов, стен общественных, жилищных и промышленных зданий.

По химическому способу поризации структура ноздреватого материала образуется при термическом разложении газосоздателей или взаимодействия компоненте композиции, при физическом - в результате интенсивного расширения растворимых газов со снижением давления или повышением температуры, а также их механического диспергирования.

Без вспенивания получают сотопласты, их изготавливают, склеивая в блоки гофрированные листы бумаги или куски ткани, пропитанные полимером.

Плотность ноздреватых пластмасс зависит от вида полимера и содержания газообразователя. Средняя плотность теплоизоляционных пластмасс составляет 10...200 кг\м<sup>3</sup>. Теплопроводность пластмасс, применяемых для теплоизоляции, ниже, чем теплопроводность других неорганических и органических теплоизоляционных материалов.

**Полимерные изделия общетехнического назначения.** Трубы из полимерных материалов имеют ряд преимуществ сравнительно с металлическими: они легче, стойкие к действию кислот и щелочей, не поддаются электрохимической коррозии, гибкие, имеют меньшее сопротивление движения жидкостей, низкую теплопроводность, простые относительно монтажа. Существенным недостатком полимерных труб является низкая теплостойкость (60...70°C) и значительное линейное расширение.

Основные виды полимерных труб, применяемых в строительстве: полиэтиленовые, полипропиленовые, поливинилхлоридные, из органического стекла и стеклопластика.

Полимерные трубы формируют преимущественно способом экструзии или центробежным литьем. Диаметры полимерных труб: полиэтиленовых - 10...1200, полипропиленовых – 50...80, поливинилхлоридных - 10...400, стеклопластиковых - 30...300 мм. Полиэтиленовые и полипропиленовые трубы соединяют в трубопроводы контактной сваркой, а поливинилхлоридные и стеклопластик - склеивают.

Полимерные трубы применяют для устраивания систем водоснабжения и канализации, вентиляции, внутренних коммуникаций химических и пищевых производств, ирригационных трубопроводов и газопроводов.

Стеклопластиковые трубы применяют в нефтяной, химической и горнодобывающей промышленности.

Полимерные материалы используют также для изготовления крупногабаритных изделий (ванны, раковины и тому подобное), которые прессуют из армированных термореактивных полимеров или изготавливают методом вакуумного формирования из полимеров термопласта. Эти изделия имеют значительно меньшую массу, чем металлические или керамические, высокие эксплуатационные и эстетичные свойства.

**Полимерные клеи.** Применение синтетических клеев в строительстве является выгодным со многих точек зрения, при этом не только снижается затрата традиционных материалов и затраты на строительство, но и повышаются технико-экономические показатели сооружений.

**Синтетические клеи** - это растворы, расплавы или дисперсии полимеров, а также олиго- и мономеров, способных прилипнуть к поверхностям разных материалов и при отверждении соединять эти материалы.

Различают клеи термопластичные и термореактивные, а также холодного и горячего отверждения. Механизм отверждения может быть связан с охлаждением расплава, испарением растворителя, реакциями поликонденсации олигомеров и полимеризации мономеров.

На основе полимеров термопласта изготавливают поливинилацетатные, перхлорвиниловые, полиамиды, полиакриловые, каучуковые клеи их используют для крепления отделочных материалов, встроенной мебели, склеивания пено- и поропласта.

Для силового склеивания используют клеи на основе термореактивных полимеров: эпоксидных, фенолформальдегидных, карбамидных, полиэфирных и полиуретановых. Эти клеи отличаются высокой адгезией, водостойкостью, стойкостью к вибрационным нагрузкам и теплостойкостью.

Недостатками некоторых полимерных клеев является высокая токсичность в период изготовления и склеивания (эпоксидные клеи), а также во время эксплуатации (фенолформальдегидные клеи).

Клеи на основе термореактивных полимеров применяют при склеивании алюминия, стали и других металлов, керамики, стекла, бетона, древесины.

#### **10.4. Оценка долговечности строительных материалов. Проблемы экологии производства и применения полимерных материалов.**

Широкое применение полимерных материалов в строительстве предусматривает повышенные требования к долговечности их и надежности при эксплуатации.

Одним из важнейших свойств полимерных материалов является высокая коррозионная стойкость. Однако и полимерные материалы не являются универсальными. Степень их коррозионной стойкости зависит от свойств, вида, химического состава агрессивной среды и условий его влияния.

Влияние агрессивной среды на полимерные материалы может проявляться в изменении их структуры и свойств. При этом материал в середине может разрушаться, но внешне оставаться невредимым.

Коррозия полимеров - результат преодоления сил взаимодействия между их атомами или молекулами, но может возникать также под воздействием разных окислительных реагентов, термического, радиационного, механического влияния и других энергетических факторов, а также при химическом взаимодействии с разными агрессивными средами. При этом в полимерах протекают разнообразные деструктивные процессы.

Окислительная деструкция полимеров возникает под воздействием кислорода воздуха или озона. Кроме того, в реальных условиях хранения или использования материалов на полимер влияют солнечные лучи, влага, тепло. Изменения, которые возникают под их влиянием, обуславливают старение материалов.

На начальной стадии окислительной деструкции полимера начинается присоединение кислорода к некоторым звеньям макромолекул. Скорость этой реакции определяется химическим составом звеньев, скоростью диффузии кислорода в толщу полимера и соотношением площади поверхности изделия к его объему. Такое присоединение кислорода вызывает образование разных функциональных групп, которые обуславливают увеличение полярности полимера, что приводит к ухудшению диэлектричности, уменьшения упругости и повышения температуры хрупкости.

Образование перекисных или гидроперекисных групп ускоряется с повышением концентрации кислорода в полимере и с увеличением температуры. Облучение светом, особенно ультрафиолетовой частью спектра, активизирует этот процесс. Такие группы легко разлагаются к свободным радикалам, которые инициируют процесс окисления.

Последующие реакции радикалов могут привести к снижению молекулярной массы или сшиванию полимера, что обусловит резкое изменение свойств и приведет к его деструкции.

Термическая деструкция возникает под действием тепла, а иногда при одновременном действии тепла и кислорода может образовываться термоокисление.

Для противодействия полимеру окислительной или термической деструкции в его состав вводят добавки против старения (фенолы, амины) или стабилизаторы (соли свинца, кадмия, бария, кальция). Стабилизаторы или добавки против старения не должны ухудшать физико-механические свойства полимера, и поэтому их вводят в количестве, что не превышает 2%.

Радиационная деструкция полимеров проходит под воздействием излучения «высокой энергии» или «ионизирующего излучения» (рентгеновские лучи, электроны, протоны и др).

Их действие заключается в возбуждении и ионизации отдельных звеньев макромолекул.

Возбуждение, то есть перевод электронов на более высокий уровень, а также ионизация, что связана с «вырыванием» электронов, предоставляют макромолекулам постоянство, облегчая деструкцию полимера. В зависимости от типа полимера и длительности облучения, деструкция сопровождается выделением низкомолекулярных газообразных веществ (водорода, хлора, азота, метана).

Биологическая деструкция - действие микроорганизмов, насекомых на изделия из синтетических полимерных материалов. Микроорганизмы снижают гигиеничность изделий и ухудшают их внешний вид. Пигменты микроорганизмов способны перекрашивать полимерные материалы так, что даже после удаления плесени на их поверхностях остаются пятна серого, зеленого, черного, фиолетового или розового цветов.

Плесень способствует конденсации водяных паров и ухудшает свойства материала. Метаболиты, в том числе энзимы, могут вызывать деструкцию самого полимера, что проявляется в потере блеска или «пищеварении» поверхности. Некоторые виды плесени и бактерий используют для себя как питательная среда пластификаторы или наполнители, которые входят в состав полимерного материала, и этим убыстряют старение изделия. Иногда плесень прорастает даже сквозь пленки из полимерных материалов.

Большинство естественных высокомолекулярных соединений или их производных - источник питания для микроорганизмов. Напротив, большинство синтетических полимерных материалов не является питательной средой для микроорганизмов и в присутствии их размножения последних подавляется. Однако присутствие в пластмассе наполнителей, пластификаторов, стабилизаторов, которые являются источниками углерода, может вызывать разрушение изделий, изготовленных даже с достаточно стойких полимеров.

Химическая деструкция полимерных материалов возникает при химическом взаимодействии их с окружающей средой.

Химические реакции макромолекулярных и органических низкомолекулярных веществ подчинены одинаковым закономерностям, но протекают по-разному.

Гетероцепные полимеры (полиамиды, тиоколы, силоксаны, полиэферы и др.) сравнительно легко распадаются под действием горячей воды, кислот, щелочей. Карбоцепные полимеры в целом значительно более стойкие к агрессивным средам.

Молекулярная решетка полимера принадлежит к менее всего крепким, а энергия разрыва связей атомов в органических углеводородных соединениях значительно меньше, чем в молекулах большинства неорганических веществ, широко применяемых в строительстве. Этим и обусловленные невысокая рабочая температура, при которой возможная эксплуатация пластмасс, а также их склонность к окислительным процессам, которые приводят к изменению как физико-химических, так и технических показателей свойств полимерных материалов.

Особенно быстро эти процессы, которые называют старением, проходят при комбинированном влиянии кислорода воздуха и ультрафиолетового излучения, а также при повышении температуры окружающей среды. При этом реакции могут развиваться в двух направлениях: первый из них связан с деструкцией, под которой понимают совокупность процессов, которые приводят к уменьшению длины молекул полимера, то есть к их разрушению; второе направление, напротив, приводит к агрегации молекул или к объединению звеньев молекул, что обуславливает уменьшение эластичности, повышения жесткости полимера и увеличения не только прочности, но и хрупкости изделий на его основе.

В материалах, которые работают под нагрузкой, обычно возникает сетка микротрещин и других дефектов, которые приводят практически к полной потере структурно-механических свойств конструкции или сооружения.

Механизм разрушения многих полимеров, так же как и процесс их образования, - цепной. Это позволяет предлагать в качестве эффективных способов торможения процессов разрушения обрыв цепей, уменьшения достоверности их зарождения.

Практика показывает, что большую роль при этом имеют наполнители, которые перестают быть инертными материалами и принимают участие в химических процессах.

Некоторые из них (например сажа, которую вводят в полиэтилен) блокируют свободные связи на конечностях молекул полимера и снижают таким образом его реакционную возможность. Другие наполнители, не пропуская или отбивая солнечные лучи, уменьшают достоверность развития цепных процессов. Некоторые наполнители могут выполнять функции антиокислителей.

При введении в полимеры тех или других наполнителей обычно учитывают совокупность свойств, какие они предоставляют пластмассам. Например, в случае использования разного количества тонкодисперсных

наполнителей полимерные материалы приобретают большую твердость и прочность.

С точки зрения физико-химических процессов, которые обуславливают такие изменения, рассматривают взаимодействие связующего вещества с наполнителем, которое проходит на грани деления фаз. При этом необходимое родство между наполнителем и связующим компонентом для получения крепкой и долговечной пластмассы.

Таким образом, пластмассы, в которых связующее вещество соединяется с наполнителями, - порошковидными (тальк, кварцевый песок), волоконными (асбест, древесное волокно, костер льна), применяют в строительстве не только с целью повышения химической стойкости, улучшение механических та деформативных показателей конструкций, но и для получения значительного экономического эффекта. Таким путем были созданы разнообразные композиционные материалы, в том числе стеклопластики, которым присущие высокие показатели коэффициента конструктивного качества

Сочетание связующего вещества с наполнителем в полимербетонах (пластбетонах) позволяет снизить усадочные деформации органического полимера, (что особенно важно для полов) и повысить его прочность; в древесностружечных плитах - объединить в единственное естественные и искусственные органические соединения, утилизируючи отходы древесины; в полимерцементных композициях - повысить непроницаемость и эластичность. При этом оптимальная прочность композита достигается при введении определенного количества наполнителя, вид которого выбирается с учетом силы адгезийного сцепления между компонентами.

Кроме того, волоконные и частично порошковидные наполнители способны предотвращать развитие микротрещин, которые «обрываются» на границе деления фаз.

С помощью наполнителя можно предоставить пластмассам и дополнительных специальных свойств, необходимых, например, для комбинированных изделий. Да, полимерные материалы имеют обычно отличный от металлов и бетона коэффициент термического расширения. Введение в полимер наполнителя неорганического происхождения, например, кварца, известняка, цемента, графитного порошка, способствует сближению коэффициентов термического расширения полимера и неорганической подкладки.

Для строительных пластмасс, которые так же, как некоторые другие органические соединения, эксплуатируют в условиях прямого влияния на них солнечных лучей, особенное значение получают вопросы стабильности во времени. В подобных случаях введения одних только наполнителей может быть недостаточным и тогда, кроме выбора наиболее стойких, к таким полимерам (полистирола, полиметилметакрилата) нужно еще применять ингибиторы - вещества, способные резко тормозить цепные процессы.



К эффективным ингибиторам относят деревносмольные антиокислители, обогащенные фенолами, а также производные бензофенола, некоторые амины и стеараты свинца, кальция, бария.

Как пластификаторы применяют фосфаты, диметилфталат, бутилстеарат и некоторые другие вещества.

Для повышения негорючести строительных пластмасс применяют галоидопроизводные (поливинилхлорид, хлорируемый парафин), кремниеорганические соединения (силикон), а также антипирены (фосфорнокислый аммоний).

Иногда одно и то же вещество в пластмассе может выполнять одновременно несколько функций. Да, фосфаты используют одновременно как антипирены и пластификаторы. Наполнители могут выполнять функции антиокислителя, пигмента, также компонента, который повышает непроницаемость материала.

При изготовлении и применении в строительстве пластмассовых материала изделий и конструкций нужно принимать во внимание то, что на стадии изготовления и применения некоторые из них могут иметь негативное влияние на окружающую среду. Характер влияния синтетических полимеров и пластмасс на организм человека определяется их химическим строением и физико-химическими свойствами. Разнообразные пластмассы и их низкомолекулярные летучие примеси, влияя на организм, могут вызывать какие-нибудь биологические реакции, в том числе сенсобилизационного, мутагенного, канцерогенного и фиброгенного характера.

Для существующего ассортимента пластмасс, с учетом способов их получения и переработки, следует выделить отдельные этапы производства (синтез полимеров, формирования изделий и их обработка), которые нуждаются в экологическом контроле.

Например, на этапе синтеза полимеров основными причинами загрязнения производственной среды вредными веществами является периодичность процессов, отсутствие комплексной механизации, дистанционного контроля и управления процессами, использование несовершенного оборудования, наличие ручных производственных операций, ручного отбора проб с необходимостью открытия люков аппаратов.

При этом работники могут испытывать комплексное (ингаляционная и через кожу) действие незаполимеризованных исходных продуктов синтеза смол (мономеров), побочных продуктов реакции поликонденсации (аммиака, хлористого водорода), дополнительных веществ (пластификаторов, растворителей, катализаторов и тому подобное), которые не вступают в прочную химическую связь с полимером, продуктов деполимеризации, смол (при ручных операциях).

Процессы формирования изделий (экструзия, прессование, литье под давлением и тому подобное), при которых полимеры поддаются термической обработке, характеризуются влиянием на работников сложной смеси продуктов термоокислительной деструкции. Вместе с такими продуктами

при изготовлении изделий из пластмасс в воздух производственных помещений могут поступать и химические вещества, характерные для предыдущего этапа технологии.

Во время обработки изделий из пластмасс (резка, шлифование, полирование) воздуха производственных помещений загрязняется пылью и высокодисперсными аэрозолями.

Проектирование и реализация технологий изготовления изделий из пластмасс должны предусматривать необходимые правила охраны труда, техники безопасности и мероприятия по защите окружающей среды от загрязнения.

#### **10.5. Екотехнологии вторичного использования пластмасс.**

Рост добычи природного газа и нефти, а также повышение спроса на них в сферах промышленности и бытовых услуг привели к резкому увеличению производства полимерных материалов и к увеличению отходов.

Пластмассы пока еще относительно мало используют как вторичное сырье. Это объясняется разнообразием типов пластмасс, которые содержат рядом с полимерами большое количество других компонентов, что осложняет сортировку и переработку пластмассовых отходов, особенно бытовых.

Пластмассы используют в промышленности для изготовления разного рода полуфабрикатов, изделий и деталей. Иногда ими заменяют более дорогие и тяжелые металлы. Из пластмасс изготавливают разные пленочные материалы для упаковки, а также поддоны, трубы, клеи и т.п. Однако пластмассовая упаковка загрязняет окружающую среду, поскольку каждый раз после использования идет в отходы. Другие пластмассовые изделия переходят в отходы в процессе изнашивания их.

Американские специалисты условно установили для всех пластмассовых изделий три срока службы: короткий, оптимальный и длительный (табл.24).

**Таблица 24.**

#### **Предполагаемые сроки использования пластмасс разного назначения.**

Отрасль применения пластмасс	Предвидимый срок службы, год		
	короткий	оптимальный	длительный
Оборудование:			
крупногабаритное...	8	10	15
мелкогабаритное...	3	5	8
Машиностроение и жилищное			
строительство...	10	20	25
Электроника и электротехника....	5	7	10
Мебельная			
промышленность...	7	10	15
Производство			
предметов домашнего			
быта....	3	5	8
транспорт...	7	10	12
сельское хозяйство...	5	7	10

Основные направления утилизации пластмассовых отходов: захоронения на полигонах и свалках; переработка с использованием заводских технологий; общее сжигание отходов пластмасс с городским мусором; пиролиз и раздельное сжигание в специальных печах; использование отходов пластмасс как готового материала для других технологических процессов.

Захоронения отходов пластмасс на полигонах и свалках, которое пока наиболее распространено в нашей стране, можно рассматривать только как временную возможность их обезвреживания, потому что пластмассы поддаются разложению очень медленно. При этом методе обезвреживания из сферы полезного использования выводятся тысячи тонн ценного вторичного сырья.

Переработку пластмассовых отходов по заводским технологиям можно рассматривать как наиболее оптимальный метод их использования. Общая схема этого процесса изображена на рисунке 14.

Первая стадия включает сортировку отходов за внешним видом, отделения непластмассовых компонентов.

Вторая стадия - одна из наиболее ответственных в процессе. В результате одно - или двостадийного измельчения получают материал, размеры которого достаточны для того, чтобы можно было осуществить его последующую переработку.

#### **Рисунок 14. Принципиальная схема переработки отходов пластмасс.**

- 1.Предварительная сортировка и очистка →
- 2.Дробление →
- 3.Отмывание и сепарация →
- 4.Классификация →
- 5.Сушка →
- 6.Конфекционирование и грануляция →
- 7.Переработка в изделия

На третьем этапе измельченный материал поддают отмыванию от загрязнений органического или неорганического характера разными растворами, моющими средствами и водой, а также отделяют его от примесей.

Четвертая стадия зависит от избранного способа распределения отходов за видами пластмасс. В случае, если преимущество отдают мокрому способу, сначала проводят распределение отходов, а после него - сушка. При реализации сухих способов сначала измельченные отходы сушат, а затем классифицируют.

Пятая и шестая стадии заключаются в том, что высушенные и измельченные отходы смешивают при необходимости со стабилизаторами, красителями, наполнителями и другими компонентами и гранулируют. Часто на этой самой стадии отходы смешивают с товарным продуктом.

Седьмая, заключительная стадия процесса заключается в переработке гранулята в изделия. Эта стадия практически мало, чем отличается от процесса переработки товарного продукта с точки зрения оборудования, что применяют, но часто нуждается в специфическом подходе к выбору режимов переработки.

Если удастся достичь достаточно высокой степени очистки и выделения индивидуальных отходов из смесей, а также, если отходы предварительно распределены за видами пластмасс, их переработка очень похожая на переработку первичных материалов. Одним из существенных моментов при этом является возможность полимеров хранить или изменять свойства в процессе многократной переработки, поскольку от этого во многом зависит целесообразность самого процесса. Изучение влияния кратности переработки большинства полимеров на их физико-механические свойства показало, что изменение последних связано, как правило, со снижением молекулярной массы пластмасс, разветвленностью их структуры и рядом других показателей.

Обычно содержание отходов в смесях с товарным продуктом не должно превышать 20%, потому что в противоположном случае значительно ухудшается блеск поверхности, появляется шероховатость.

Особенностью повторной переработки поливинилхлорида является необходимость его дополнительной стабилизации. Отходы мягкого поливинилхлорида используют для получения пленочных изделий. Для этого 20% отходов измельчают на смесительных валах, смешивают с товарным продуктом, стабилизаторами, красителями и другими добавками, после чего пропускают сквозь систему валов, что подогревают материал и предоставляют ему нужной текстуры.

Достаточная стабильность качества материалов из отходов позволяет систематически использовать их для получения определенных пластмассовых изделий. Да, из отходов полиэтилена высокого давления изготавливают трубы, прокладки, пленки, уплотняющие профили. Отходы полиэтилена низкого давления, которое получают методом литья, переделывают в элементы строительных конструкций (опалубки), а полипропиленовые отходы - в сантехнические детали, ручки для столярных изделий.

Утилизация полимерных отходов возможна также без предыдущего их распределения. Это делает процесс утилизации более дешевым, однако физико-механические свойства изделий, полученных таким образом, значительно ниже.

Широкое распространение приобрел метод многокомпонентного литья, который предусматривает использование отходов для получения многослойных полимерных материалов. Внешний слой - это, как правило, товарные пластмассы высокого качества, стабилизированные, определенного цвета, что имеют высокие эстетичные свойства. К внутреннему слою не предъявляют высоких требований ни за физико-механическими показателями, ни за внешним видом. Материал может быть не стабилизированным и не

крашенным. В состав такого слоя часто включают такие дешевые наполнители, как тальк, сульфат бария, стеклянные и керамические шарики, вспенивающий агент. Такой состав внутреннего слоя позволяет значительно снизить стоимость изделия и утилизировать отходы.

Большое количество пластмасс в виде отходов может попадать в бытовые

отходы, но общее сжигание таких отходов на заводах мусоросжиганий не допускается с целью предотвращения загрязнения воздушного бассейна.

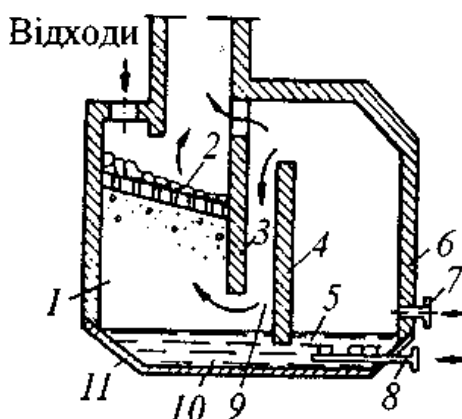
В последнее время при утилизации и обработке отходов пластмасс все большего применения находят термические методы. Их использование является целесообразным, когда отходы не находят практического применения и не могут быть утилизируемые путем переработки в изделия.

В странах с развитой промышленностью все большего распространения находят пиролитические методы.

При пироллизе пластмасс чаще применяют непосредственное нагревание, что обеспечивает высокий коэффициент теплопередачи, увеличивает производительность установок и снижает капиталовложение в их строительство и эксплуатацию сравнительно со способами непрямого нагревания. Для реализации способов непосредственного нагревания применяют оборотные печи, вертикальные реакторы шахтного типа, системы с псевдоожиженным слоем и тому подобное.

Так, например, для сжигания отходов способных плавиться (термопластов), разработанная специальная конструкция печи (рис.15), что существенно отличается от обычных оборотных и других видов конструкций, в которых термопласты склонные к налипанию, что приводит к ухудшению работы агрегата.

**Рисунок 15. Схема рабочей камеры специальной печи для сжигания отходов, что плавятся:**



1 - камера плавления; 2 - решетка; 3 - стенка камеры плавления;  
4 - стенка камеры сжигания; 5 - барботажная ванна; 6 - камера сжигания;  
7 - труба для подачи вторичного воздуха; 8 - труба для подачи первичного воздуха; 9 - вертикальный канал; 10 - расплав; 11 - ванна.

С целью улучшения условий горения пластмассовых отходов и снижения теплоты сжигания иногда их предварительно брикетируют.

Термическое обезвреживание пластмасс методом сжигания целесообразно использовать только в тех случаях, когда есть надежные аппараты очистки газов после сжигания, а также когда не могут быть применены более рациональные методы регенерации, которые предусматривают повторную переработку.

В странах с развитой промышленностью отходы полимерных материалов, которые очень медленно разлагаются в обычных условиях, являются источником загрязнения окружающей среды. Для сокращения времени утилизации отходов пластмасс разработанные специальные типы полимеров с регулируемым сроком эксплуатации.

Как правило, это фото - или биодеструкционные полимеры, которые под действием света, теплоты, воздуха и микроорганизмов в грунте разлагаются к низкомолекулярным продуктам и ассимилируются в нем, включаясь, таким образом, в замкнутый биологический цикл. Особенностью этих полимеров является возможность сохранять необходимые потребительские свойства на протяжении всего периода эксплуатации и только после этого испытывать физико-химические и биологические превращения, которые приводят к деструкции и разрушению.

Например, под действием ультрафиолетового излучения в искусственных или естественных условиях фотодеструкционные полимерные материалы сначала растрескиваются, потом просыпаются на куски разных размеров, а в дальнейшем превращаются в порошок.

Другой способ создания полимеров, которые способны разлагаться под воздействием микроорганизмов, заключается в добавлении к полимерной матрице веществ, которые сами легко разрушаются и усваиваются микроорганизмами.

Кроме того, существует способ создания биораскладочных полимеров введением к их составу специальных штаммов микроорганизмов, способных разрушать полимеры за счет усвоения их элементов.

Одним из способов утилизации пластмассовых отходов является их использование в виде добавок. Например, использование отходов полиолефинов в композициях с битумом является одним из эффективных направлений, который позволяет модифицировать свойства асфальтовых дорожных покрытий, повышая их прочность, водо - та износостойкость. Кроме того, отходы пластмасс применяют в композициях со многими традиционными строительными материалами для производства звукоизоляционных плит и панелей, герметиков, труб, нетканых синтетических материалов и тому подобное.

#### **10.6. Влияние заводов и цехов по производству строительных изделий из пластмасс на окружающую среду.**

##### **Сточные воды производства полистирольных плиток.**

Плитки изготавливают из полистирола, получаемого полимеризацией стирола (винилбензола).

В технологическом процессе изготовления плиток вода непосредственно не участвует, она используется только для охлаждения форм, в которые поступает подогретый до 220—250°C полистирол. Отливка плиток производится под давлением в специальных литьевых машинах.

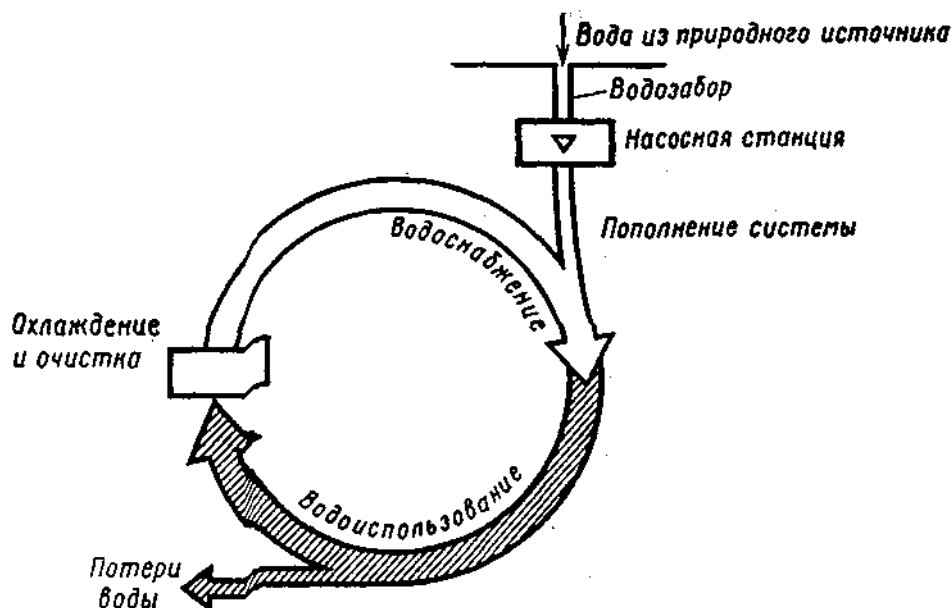
Количество охлаждающей воды достигает 140 м<sup>3</sup> на 1000 м<sup>3</sup> плиток. Эта вода не содержит загрязнений и используется в системе оборотного водоснабжения.

Генеральным направлением экономии воды для производственных нужд и предотвращения загрязнения гидросферы является создание на предприятиях замкнутых оборотных систем водоснабжения, создание которых, как правило, дешевле крупных очистных сооружений. В замкнутых системах определенное количество воды, выполнив заданную функцию (например, охлаждения агрегатов), восстанавливается в первоначальных качествах, то есть охлаждается, очищается от загрязнителей и повторно используется по назначению (рис.15). В идеале этот цикл мог бы повторяться бесконечно. Но фактически потери воды главным образом от испарения достигают 5 - 10%. Как показывает опыт, расход воды на предприятиях с замкнутой системой водоснабжения резко снижается.

Во многих районах Украины на строительных предприятиях введены системы оборотного водоснабжения. Оно заключается в передаче воды на повторное использование после соответствующей обработки (фильтрования, отстоя, охлаждения) в другом технологическом процессе или в другой системе. Например, передача воды с производства в системы отопления, на сельскохозяйственный полив, мойку транспортных средств и т. п.

В настоящее время в Украине до 69% общего водопотребления на производственные нужды получают из оборотных или последовательных систем водоснабжения. Однако число и мощность их в строительстве пока недостаточны.

**Рис.15. Принципиальная схема оборотного водоснабжения.**



#### **Сточные воды производства декоративных слоистых пластиков.**

Слоистые пластики изготовляют из специальных сортов бумаги, бакелитового лака для пропитки внутренних слоев бумаги и карбамидных смол для пропитки ее наружных слоев.

Технология производства смолистого пластика заключается в приготовлении связующих синтетических смол, пропитке бумаги растворами этих смол, сушке пропитанных бумаг и прессовании пакетов пропитанных бумаг.

При производстве декоративных слоистых пластиков на  $1000 \text{ м}^2$  готовой продукции образуется  $175 \text{ м}^3$  незагрязненных сточных вод, используемых в системах оборотного водоснабжения, и  $2 \text{ м}^3$  загрязненных сточных вод от мойки оборудования и полов.

Загрязненные сточные воды содержат частицы смолы, фенол и формалин и нуждаются в механической, физико-химической или биологической очистке.

#### **Сточные воды производства теплоизоляционных изделий из пенополистирола.**

Сырьем для изготовления теплоизоляционных материалов служит полистирол. Исходный материал подвергается вспениванию горячей водой или паром, после чего подается в бункера выдерживания. Выдержанная масса подается пневмотранспортом в формы карусельной машины, где она обрабатывается перегретым паром, прессуется и охлаждается. Охлажденный полистирол удаляется из форм с помощью гидравлических устройств. При производстве пенополистирола на  $1 \text{ м}^3$  изделий образуется  $0,3 \text{ м}^3$  сточных вод от переливов из аппаратов вспенивания и конденсат от карусельных машин, а также  $0,15 \text{ м}^3$  стоков от котельной.



Сточные воды от производства теплоизоляционных изделий из пенополистирола нуждаются в механической или физико-химической очистке.

### **Сточные воды производства полиэтиленовых труб.**

Полиэтиленовые трубы изготавливают из гранулированного полиэтилена или других пластмасс.

При изготовлении труб полиэтилен подается в бункер, а из него - в загрузочную воронку, где захватывается червяком пресса. По мере продвижения вдоль корпуса пресса полиэтилен нагревается до 140 - 280°C, пластифицируется и выдавливается через формующую головку пресса. Отформованные трубы поступают в калибрующую насадку, где они предварительно охлаждаются под вакуумом и калибруются. Окончательное охлаждение труб производится в водяной ванне. Отсюда после охлаждения трубы поступают на склады.

При производстве фитингов полиэтилен из бункера литьевой машины поступает в обогреваемый цилиндр, где он расплавляется. Расплавленный полиэтилен из цилиндра под большим давлением подается в пресс-форму, где охлаждается циркулирующей в каналах водой. Изделие, охлажденное до температуры 40 - 50°C, извлекается из пресс-формы и после удаления литника укладывается в ящики.

Трубы и фитинги подвергают выборочным испытаниям на гидравлическое давление, физико-механические свойства и усадку.

При производстве полиэтиленовых труб сточные воды образуются от охлаждения прессов, труб и пресс-форм литьевых машин, небольшое количество сточных вод поступает из лаборатории и от смыва полов.

Количество сточных вод от охлаждения прессов, труб и пресс-форм литьевых машин составляет 120 м<sup>3</sup> на 1 т труб. Загрязненные воды поступают от лаборатории и смывки полов, количество их не велико – 0,5 м<sup>3</sup>/т труб.

Незагрязненные сточные воды используют в системе оборотного водоснабжения. Периодически образующиеся загрязненные стоки от лаборатории и смыва полов не требуют специальной очистки и могут быть выпущены в канализационную сеть бытовых вод.

### **Сточные воды от производства асбестосмоляных (полихлорвиниловых) плиток.**

Сырьем для изготовления асбестосмоляных плиток служат пластмасса, состоящая из синтетических смол (полихлорвиниловой и кумароновой), пластификатор (дибутилфталат, асбест, минеральные наполнители - известковая мука, каолин) и пигменты-красители.

Полихлорвиниловая смола смешивается с дибутилфталатом в смесителе и выдерживается в течение 2 ч при температуре 80°C. Затем в смеситель загружаются все остальные компоненты и перемешиваются при температуре 140°C. Из смесителя масса поступает на вальцы и каландр, а из каландра в виде непрерывной ленты в пресс для высечки плиток. Готовые плитки упаковываются и поступают на склад.

При производстве асбестосмоляных плиток сточные воды образуются от охлаждения оборудования, аспирационных циклонов и вентиляционных систем и от котельной (охлаждение дымососов, водоочистка, продувка котлов).

Удельные количества сточных вод от производства 1000 м<sup>2</sup> асбестосмоляных плиток приведены в таблице 25.

**Таблица 25.**

**Удельные количества сточных вод от производства 1000 м<sup>2</sup> асбестосмоляных плиток.**

Цех и технологическая операция	Сточные воды в м <sup>3</sup> на 1000 м <sup>2</sup> плиток	
	незагрязненные	загрязненные
Охлаждение оборудования...	106	---
Охлаждение агрегатов, не включенных в оборотную систему.....	5	---
Аспирационные циклоны и вентиляционные системы...	---	1,7
Котельная.....	3	---

Сточные воды от охлаждения оборудования используются в системах оборотного водоснабжения. Сточные воды от охлаждения агрегатов, не включаемые в систему оборотного водоснабжения, не содержат загрязнений и могут быть использованы в производстве. Стоки от циклонов аспирационных систем загрязнены асбестовой пылью, смолой, пластификаторами, минеральными наполнителями и требуют механической и физико-химической очистки. Циклоны являются первичными аппаратами вентиляционной системы, для очистки от токсичных газов (поливинила, кумарона и красителей), должны быть использованы (абсорберы, адсорберы, скрубберы и др.) аппараты физико-химической очистки, которые, к сожалению, отсутствуют на многих подобных предприятиях. Стоки лабораторий содержат различные химикаты и бензин и нуждаются в физико-химической очистке.

**Сточные воды от производства полихлорвинилового линолеума.**

Полихлорвиниловый линолеум изготавливают из полихлорвиниловой смолы, пластификаторов, красителей, кумароновой смолы и пылевидного асбеста.

Приготовленная из указанных материалов масса перемешивается в смесителе при температуре 100-110°C. Смешанная масса проходит вальцы и каландр, где она калибруется до требуемой толщины, и поступает на охлаждение водой в холодильную установку каландра, затем – на резку, намотку и упаковку.

В процессе производства полихлорвинилового линолеума образуются производственные стоки:

- незагрязнённые сточные воды от охлаждения технологического оборудования и компрессоров;

- котельной (охлаждение дымососов, водоочистка, продувка котлов), имеющие специфические загрязнения;
- загрязнённые сточные воды от циклонов пылеочистки и лаборатории.

**Таблица 26.**

**Удельные количества сточных вод от производства  
полихлорвинилового линолеума.**

Цех и технологическая операция	Сточные воды в м <sup>3</sup> на 1000 м <sup>2</sup> линолеума	
	незагрязненные	загрязненные
Охлаждение технологического оборудования...	200	---
Охлаждение агрегатов, не включенных в оборотную систему.....	---	6,0
Котельная.....	---	3,5
Аспирационные циклоны...	---	3,0
Лаборатория.....	---	0,5

Загрязнённые стоки от аспирационных систем и лаборатории содержат асбест, смолы, химикалии и пластификаторы, нуждаются в механической и физико-химической очистке.

Нуждается в более тщательной очистке воздух от токсичных газов посредством физико-химических аппаратов.

**ПРОИЗВОДСТВО ФЕНОЛО-ФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ СМОЛ.**

Исходным сырьем для производства феноло-формальдегидных смол служат фенол, формалин, анилин, аммиачная вода и щавелевая кислота.

Технологический процесс получения 'твердой смолы включает стадию подготовки, загрузки и конденсации сырья, сушку смолы, ее слив, охлаждение и измельчение.

При производстве феноло-формальдегидных смол образуются два основных вида отработанных вод: незагрязненные сточные воды от охлаждения аппаратуры и загрязненные надсмольные воды, а также воды от мойки полов и аппаратуры. Количество незагрязненных вод составляет 75 м<sup>3</sup>, а суммарное количество загрязненных вод—1,85 м<sup>3</sup> на 1 т смолы.

К надсмольным водам относятся конденсаты, получаемые при сушке смолы, и вода, отделяющаяся от смолы при ее отстаивании или сепарировании. В среднем на 1 т смолы образуется 0,6—0,9 м<sup>3</sup> надсмольной воды. В этих водах содержится до 40 г/л фенола, 26 г/л формальдегида, 50 г/л метанола и 2 г/л смолы.

Надсмольные воды используются как сырье для получения феноло-формальдегидных смол. В производственном процессе к смеси надсмольных вод и конденсатов добавляют формальдегид, едкий натр и мочевины. Полученную новую смесь нагревают до кипения, затем охлаждают до 80°С, создают разрежение и отгоняют воду. В результате получается продукт в виде карбамидо-феноло-формальдегидной смолы.

Из обесфеноленной воды отгоняют метанол. Последний загрязнен фенолами и формальдегидом, вследствие чего он не может быть использован в производстве, а поэтому его сжигают.

Сточная вода после отгонки метанола содержит небольшое количество (125 мг/л) фенола, около 1 г/л формальдегида и 1 г/л метанола. Вместе с загрязненными стоками от мойки полов и оборудования эта вода направляется на биохимическую очистку совместно с бытовыми стоками.

Незагрязненные сточные воды после охлаждения на градирнях используются в системах оборотного водоснабжения.

### **ПРОИЗВОДСТВО ПОЛИЭТИЛЕНА НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ.**

Основным сырьем для получения полиэтилена служит этилен; кроме того, в производственных процессах употребляются бензин, метанол, триэтилалюминий, диэтилалюминийхлорид, четыреххлористый титан, циклогексан и др.

Очищенный и высушенный этилен и предварительно приготовленный катализатор подаются в полимеризатор, где в среде бензина происходит полимеризация этилена при давлении 3 - 4 ат и температуре 80°C. Полученная таким образом суспензия полиэтилена в бензине поступает для разделения на центрифуги или гидроциклоны. Отжатая здесь паста направляется на промывку метиловым или н-пропиловым спиртом; при этом катализатор сначала разлагается, а затем отмываются его остатки. Промывка и отжим суспензии производятся несколько раз до получения полимера с низкой зольностью.

Отжатый тем или иным способом бензин и бензино-спиртовые смеси регенерируются. Выделенный бензин возвращается в производство. Порошок полиэтилена сушится и подвергается грануляции. При производстве полиэтилена вода расходуется в основном на охлаждение и промывку аппаратуры. Количество незагрязненных (охлаждающих) сточных вод превышает 500 м<sup>3</sup>, а загрязненных стоков составляет 30 м<sup>3</sup> на 1 т полиэтилена. Эти стоки содержат все те вещества, которые участвуют в производственных процессах, и их величина рН 11,3.

Характеристика химического состава сточных вод приведена в табл.27.

**Таблица 27.**

#### **Характеристика сточных вод.**

Показатель загрязнённости	Концентрация в мг/л
Полиэтилен.....	100
Воск.....	15
Бензин и циклогексан.....	50
Гидраты окислов титана и алюминия...	330
Хлористый натр.....	190
Металат натрия.....	5
Метанол.....	5-50

Незагрязненные сточные воды используются в системах оборотного водоснабжения.

Загрязненные сточные воды подвергаются механической очистке путем отстаивания. Отстойники рассчитываются на пребывание в них воды в течение 2 ч. За это время сточные воды практически полностью освобождаются от нерастворимых примесей, бензина и циклогексана.

Выделенные бензин и циклогексан направляются на ректификацию, а выпавшие в осадок полиэтилен, воск и продукты разложения катализатора направляются в отвал или на сжигание. При этом происходит сильное загрязнение воздуха, почв и подземных вод.

Прошедшая механическую очистку сточная вода, содержащая следы полиэтилена и воска, 5 - 40 мг/л метанола и до 3 г/л растворенных солей, сбрасывается в сеть бытовой канализации и направляется на биохимическую очистку в смеси с бытовыми стоками.

### **ПРОИЗВОДСТВО ПЛАСТИФИКАТОРОВ.**

Для производства пластификаторов используются весьма разнообразные исходные материалы — фталевый ангидрид, адипиновая кислота, жирные спирты, бутанол, серная кислота, едкий натр, активированный уголь, осветляющая глина, диэтиленгликоль, бензосульфокислота и себациловая кислота. Готовой продукцией являются фталаты высших спиртов и полиэфирные пластификаторы.

Производство пластификаторов заключается в эфиризации подогретых растворов соответствующих компонентов. В последующих операциях производится очистка пластификатора-сырца: нейтрализация кислот катализатора, промывка солей нейтрализации, выделение, сушка и осветление готового продукта.

При производстве фталатов высших спиртов образуются сточные воды в процессе эфиризации фталевого ангидрида смесью высших спиртов и при отмывке продукта от солей нейтрализации. Их количество составляет 3,3 м<sup>3</sup> на 1 т готовой продукции.

Сточные воды содержат 20 мг/л спиртов С<sub>7</sub> и С<sub>9</sub>, около 2700 мг/л сернокислого натрия, 350 мг/л едкого натра.

При производстве полиэфирных пластификаторов образуется 0,2 м<sup>3</sup> сточных вод на 1 т готовой продукции, содержащих около 70 г/л бутилового спирта.

Эти сточные воды подвергаются ректификации путем отгонки бутилового спирта; полученный таким образом продукт возвращается в производство. Остающаяся после отгонки вода практически не содержит бутиловый спирт.

Сточные воды от производства пластификаторов сбрасываются в канализационную сеть бытовых стоков и направляются с ними на совместную биохимическую очистку.

## **ПРОИЗВОДСТВО КАРБАМИДНЫХ СМОЛ ГАЗОФАЗНЫМ МЕТОДОМ.**

Сырьем для производства карбамидных смол служат метанол, мочеви́на, фурфурол, едкий натр и серная кислота.

Технологическая схема обработки сырья включает ряд преимущественно безводных производственных операций.

Метанол разбавляется водой, подогревается и подается в спиртоиспаритель, где раствор подогревается до кипения. Образующиеся при этом пары метанола и воды увлекаются потоком воздуха, пропускаемым для этой цели через спиртоиспаритель.

Парогазовая смесь подогревается до 650—680°C и подается в аппарат, где в контакте с катализатором образуется формальдегид. Вместе с предварительно растворенной в воде мочевиной формальдегид подается в реакционную колонну, где происходит конденсация.

Образующиеся при производстве карбамидных смол надсмольные воды загрязнены в основном метанолом и формальдегидом. Эти воды подвергаются разгонке. В результате этой операции метанол извлекается практически полностью; кубовый остаток в количестве 0,5 м<sup>3</sup> на 1 т продукции, содержащий 0,2 г/л метанола и 30 г/л формальдегида, направляется на сжигание.

В бытовую канализацию один раз в месяц сбрасываются стоки, содержащие 5 г/л щелочи. Режим сброса устанавливается в зависимости от соотношения количества производственных и бытовых вод. При значительном количестве производственных вод необходимо предусматривать приемные резервуары с регулирующими устройствами, обеспечивающими равномерный выпуск их содержимого.

### **ПРОИЗВОДСТВО ВИНИАЦЕТАТНОЙ ПРОДУКЦИИ.**

Производство винилацетатной продукции делится на ряд следующих производств: производство поливинилбутироля, винифлекса, биссерного поливинилацетата, поливинилформала и поливинилкетала.

При производстве поливинилбутироля образуется маточный раствор в количестве 7,4 м<sup>3</sup>, сточные воды от промывки продукции и стабилизирующий раствор — в количестве 35,5 м<sup>3</sup> на 1 т продукции.

Маточный раствор содержит 3,4 г/л масляного альдегида и метанол. Вначале он подвергается нейтрализации, кальцинированной содой, а затем подвергается ректификации путем отгонки. В результате ее отгоняется основное количество масляного альдегида и весь метанол. Кубовый остаток, содержащий масляный альдегид и продукты нейтрализации, подвергается дальнейшей механической очистке в отстойниках. Продолжительность отстаивания не превышает 2 ч. Выпавший осадок направляется в отвал.

Осветленная вода содержит около 200 мг/л масляного альдегида и 15 мг/л взвешенных веществ. Суммарная концентрация органических примесей в воде по БПК<sub>полн.</sub> достигает 1200 мг/л. Вместе с промывными водами и стабилизирующим раствором, содержащим 360 мг/л масляного альдегида,

отстоенная вода сбрасывается в бытовую канализацию для последующей совместной биохимической очистки бытовых и. производственных стоков.

Установка для нейтрализации маточного раствора аналогична широко распространенным нейтрализационным установкам для кислых и щелочных сточных вод.

**При производстве вениффлекса** образуются также маточный раствор в количестве  $8 \text{ м}^3$  и промывные сточные воды в количестве  $100 \text{ м}^3$  на 1 т продукции.

Маточный раствор содержит около 54 г/л ацетальдегида; количество этого продукта в первых порциях промывных вод не превышает 0,5 г/л. Эти воды совместно с маточным раствором нейтрализуются кальцинированной содой и затем подвергаются разгонке. Выделенный таким путем ацетальдегид используется как товарный продукт. Кубовый остаток содержит 170 мг/л ацетальдегида и 10 мг/л взвешенных веществ. Вместе с остальными промывными водами кубовый остаток сбрасывается в бытовую канализацию для совместной биохимической очистки производственных и бытовых сточных вод.

**При производстве биссерного поливинилацетата** загрязненные сточные воды образуются при мойке технологического оборудования. Количество сточных вод на 1 т продукции составляет  $13,5 \text{ м}^3$ , в том числе около  $1,7 \text{ м}^3$  маточного раствора.

Сточные воды имеют, кислую реакцию ( $\text{pH}=4$ ), загрязнены альдегидом (150 - 160 мг/л), уксусной кислотой и мелкодиспергированным поливинилацетатом.

Очистка сточных вод производится путем их нейтрализации кальцинированной содой, коагуляции с последующим отстаиванием в продолжение 2 ч.

Сточные воды, прошедшие механическую и химическую очистку, характеризуются следующими показателями: БПК полн. = 370 мг/л, количество ацетальдегида - 150 мг/л и взвешенных веществ – 10-15 мг/л,  $\text{pH} = 8,2$ .

Осадок после механического обезвоживания направляется в отвал, а осветленная сточная вода - на биохимическую очистку в смеси с бытовыми стоками.

**При производстве поливинилформали** образуются маточный раствор в количестве  $11 \text{ м}^3$  и загрязненные сточные воды в количестве  $100 \text{ м}^3$  на 1 т готовой продукции.

Маточный раствор содержит 11,85 г/л формальдегида и соляную кислоту; величина  $\text{pH} = 1,4$ .

Загрязненные сточные воды содержат 200 мг/л формальдегида и соляную кислоту, величина  $\text{pH} = 2,4$ .

Маточный раствор нейтрализуется кальцинированной содой, отстаивается и сжигается.

Перед сбросом в канализацию загрязненные стоки подвергаются нейтрализации и отстаиванию в течение 1,5-2 ч. Дальнейшая очистка отстойной воды производится совместно с бытовыми стоками.

**При производстве поливинилкетала** образуются маточный раствор в количестве 8,5 м<sup>3</sup> и загрязненные промывные сточные воды в количестве 100 м<sup>3</sup> на 1 т готовой продукции.

Маточный раствор имеет кислую реакцию (рН = 1,6) и содержит 86,7 г/л циклогексана.

Загрязненные стоки имеют щелочную активную реакцию (рН = 8,3) и содержат 1,4 г/л циклогексана.

Маточный раствор и первые порции промывных вод направляются на локальную установку для отгонки и ректификации циклогексана. Кубовый остаток после отгонки подвергается отстаиванию; выпавший осадок после механического обезвоживания вывозится в отвал.

Последующие порции промывных вод имеют щелочную реакцию (рН = 8); они содержат 250 мг/л циклогексана и 500 мг/л взвешенных веществ. Вместе с кубовым остатком эти сточные воды сбрасываются в канализацию бытовых стоков для последующей совместной биохимической очистки.

На предприятиях пластических масс и полупродуктов строится несколько канализационных сетей для отвода производственных сточных вод к местным очистным установкам. Раздельно отводятся и обрабатываются: кислотно-щелочные стоки, загрязненные преимущественно минеральными веществами; кислотно-щелочные с органическими веществами; химически загрязненные стоки и стоки, загрязненные в основном нерастворимыми примесями. После местной очистки сточные воды сбрасываются в канализационную сеть для отвода бытовых сточных вод и вместе с ними направляются для дальнейшей очистки. Незагрязненные стоки сбрасываются в дождевую канализацию.

Канализационная сеть, отводящая кислотно-щелочные стоки, укладывается из кислотоупорных труб - стальных, гуммированных, керамических, винипластовых и др.

Для нейтрализации кислых стоков от производства поливинилацетата и его производных (поливинилбутироля, поливинилбутирольфурфурола, поливинилформала, поливинилкетала) следует применять кальцинированную соду, так как в присутствии NaOH и Ca (OH)<sub>2</sub> происходит сильное осмоление альдегидов.

В качестве биологических окислителей рекомендуется применять аэротенк-смесители с регенераторами. Окислительная мощность аэротенков 0,5 - 0,8 кг\м<sup>3</sup> сутки. При очистке стоков, вызывающих вспухание активного ила

(сток от производства винилацетата и ацетальдегида), следует поддерживать величину рН стока в пределах 8,5 - 9.

БПК общего стока на предприятиях промышленности пластических масс и полупродуктов зависит от состава и соотношения количеств сточных



вод перечисленных ранее производств, а также от эффективности работы локальных установок при обработке цеховых стоков.

Проектирование канализационных сетей, насосных станций и очистных сооружений для биологической очистки сточных вод производится согласно указаниям СНиП.

### **Выводы.**

В производстве строительных изделий из полимерных материалов применяются токсичные, высокотоксичные и канцерогенные вещества. В процессе производства, указанные вещества, частично попадают в изделия и окружающую среду и вызывают загрязнение вод, воздуха, почв, а также создают полимерные отходы.

Анализ состояния очистки вод и воздуха на строительных предприятиях Украины и стран СНГ показывает, что в основном производится механическая очистка, как вод, так и воздуха, то есть из вод и воздуха удаляются, главным образом, взвешенные вещества. Не предусмотрены очистные сооружения для извлечения из сточных вод растворённых и коллоидных веществ, а из воздуха - токсичных газов. На многих предприятиях применяются только отстойники для очистки стоков и циклоны – для очистки воздуха, а есть предприятия, где указанные сооружения отсутствуют совсем, и сточные воды сбрасывают в водоемы или горканализацию без очистки, воздух – тоже без очистки попадает в среду населённых пунктов и в другие зоны городов.

Так как в производстве строительных изделий из пластмасс применяют различные материалы, то для каждого предприятия или цеха, должны быть разработаны свои технологические схемы и сооружения для очистки стоков и воздуха [21-29].

## **Глава 11.**

### **Лакокрасочные материалы в строительной индустрии.**

#### **11.1. Особенности использования лакокрасочных материалов и оценка их экологичности.**

Лакокрасочные материалы наносят на конструкции и части зданий с целью получения покрытий, которые повышают архитектурно-художественную выразительность зданий, улучшают санитарно-гигиенические условия эксплуатации помещений, обеспечивают защиту конструкций от гниения, коррозии и загорания.

В зависимости от назначения зданий и сооружений, а также от требований, которые относятся к отделке, окрашивание бывает:

**простым**, которое используется для складских, вспомогательных и временных зданий;

**улучшенным**, предназначенным для отделки жилищных, гражданских и промышленных зданий и сооружений;

**высококачественным**, которое используется при отделке помещений в общественных помещениях (театрах, клубах, вокзалах, больницах, гостиницах и тому подобное).

Процесс получения лакокрасочного покрытия содержит такие последовательно выполняемые операции: подготовку поверхности, грунтовки, шпатлевки, шлифования, окрашивания. Причем необходимо учитывать совместимость основы и покрытия, что наносится.

Известно, что внешний вид и долговечность покрытия зависят на 60% от подготовки поверхности, на 10...15% - от сдерживания технологических норм при выполнении окрашивания, на 25...30% - от качества краски.

Подготовка поверхности перед окрашиванием имеет большое значение для получения высококачественного покрытия и обеспечения длительного срока его эксплуатации. Подготовка поверхности предусматривает ее очистку от продуктов коррозии, старой краски, пыли, жировых и других загрязнений. Способы подготовки поверхности разделяют на три группы: механические, термические, химические.

К механическим способам очистки относят: очистка инструментом (щетки, шлифовальные машины) или с помощью песка, дроби, смеси песка, воды и тому подобное. Применяя эти способы, можно получить хорошо очищенную поверхность с равномерной шероховатостью, которая повышает адгезионные свойства лакокрасочной пленки.

К химическим способам очистки поверхности относят обезжиривание поверхности, которое осуществляется с помощью щелочных моющих средств или активных растворителей в зависимости от типа загрязнения.

Термический способ применяется в основном для очистки металлической поверхности от ржавчины и окалина с использованием пламени кислородно-ацетиленовой горелки.

После очистки поверхности основы необходимо проверить ее влажность: для откосного окрашивания влажность не должна превышать 8%. Если основой является (бетон, то желательно начинать окрашивание не раньше, чем после одного сезона отопления.

Последующий технологический цикл содержит укрепляющее грунтование, финишное выравнивание поверхности, обеспыливание, а если необходимо, обезжиривание, а затем шпатлевка (для выравнивания цвета и повышения адгезии покрытия краски к подкладке).

Грунтовка является первой операцией после подготовки поверхности. Грунтующий слой позволяет укрепить саму основу, существенно увеличить срок эксплуатации покрытия в результате создания крепкой связи между поверхностью основы и следующими и лакокрасочными слоями, обеспечивает равномерное импрегнирование (всасываемость) краски.

Шпатлевка осуществляется с целью выравнивания поверхности. Шпатлевку наносят слоями (не более трех). Каждый слой шпатлевки нужно высушивать для предотвращения трещинообразования и снижения защитных свойств покрытия.

Затвердевшую шпатлевку шлифуют специальными шлифовальными дисками. Шлифование необходимо для выравнивания поверхности и улучшения адгезии между слоями покрытия.

При выборе краски необходимо учитывать ее совместимость с материалом основы, в том числе подобие значений pH.

Нанесение лакокрасочных покрытий может осуществляться разными методами, в том числе погружением, наливом, струйным обливанием, электроосаждением, псевдоразжижением, пневматическим, безвоздушным или электростатическим распылением с помощью разных устройств. Пневматическая распыленность (с помощью пистолета) позволяет использовать быстросохнущие краски и красить со скоростью 30 м<sup>2</sup>/год, создавая тонкослойное декоративное покрытие. Однако при применении этого способа отмечается высокая эмиссия паров растворителей, увеличивается затрата краски, осложняется использование вязких красок, загрязняется окружающая среда.

Необходимость ограничения эмиссии растворителей в атмосферу содействовала развитию гидродинамической технологии окрашивания, то есть безвоздушной распыленности, что предусматривает крестовидное нанесение покрытия пистолетом. Это достаточно сложный процесс, который требует высокой квалификации оператора. Высокая мощность гидродинамического окрашивания (200...400 м<sup>2</sup>/год) является эффективной при покрытии больших поверхностей.

Сушка нанесенного покрытия может быть естественной и искусственной (горячей, радиационной, фотохимической).

Разрушение лакокрасочных покрытий может происходить в результате невыполнения правила совместимости, непредвиденного действия атмосферных факторов или нарушения общих правил эксплуатации.

К основным видам разрушений, которые характеризуют изменение декоративных свойств покрытий, относят потерю блеска, изменение цвета, грязеудержание, крошение.

Учитывая растущее внимание к экологическим аспектам производства и применения строительных материалов, достаточно актуальной является оценка уровня опасности устроивания и эксплуатации лакокрасочных покрытий.

Причинами отравления людей наиболее часто является миграция токсичных веществ из лаковых покрытий. Именно такие компоненты лакокрасочных материалов как органические растворители и кислотный отвердитель, составляют наибольший риск отравления во время нанесения покрытия и последующего процесса полимеризации пленки. Опасным является применение пластификатора дибутилфталата, который при эксплуатации лакокрасочного покрытия длительное время мигрирует в окружающую среду.

Для изготовления и разведения ряда масляных или алкидных лакокрасочных материалов используют натуральные и синтетические олифы. Вредное влияние на окружающую среду имеют летучие компоненты, которые входят в состав этих олиф - органические углеводные растворители (стирол, ксилол, дифениловый спирт, триметилбензол, бензин, скипидар и др.).

Установлено, что эмаль на основе эпоксидной смолы нельзя использовать в жилищных помещениях в результате выделения в окружающую среду комплекса вредных веществ (формальдегид, ацетон, эпихлоргидрин, ксилол, толуол и сложные эфиры) в количестве, что превышает допустимый уровень безопасного их содержания в составе воздуха.

Водорастворимые краски сравнительно с органорастворимыми менее токсичны, но они содержат тяжелые металлы, растворители для ускорения высыхания и другие токсичные добавки. Даже в состав современных модернизированных латексных красок входят ксилол, метиленхлорид и тетрахлорид углерода, которые негативно влияют на окружающую среду.

Особенно опасной для здоровья людей является пыль токсичных пигментов (к которым относят все пигменты на основе свинца, оксидов хрома, сульфида кадмия и др.). Применение этих пигментов может привести к отравлению организма даже в процессе приготовления красок. Покрытие на основе красок, которые содержат токсичные пигменты, также опасны при их эксплуатации и имеют ограниченное использование.

Для предотвращения отравления токсичными пигментами при их получении и использовании в производстве необходимо применять средства индивидуальной защиты, а также обязательным является оборудование помещений местной и общей приточно-вытяжной вентиляцией.

В некоторых странах использование лакокрасочных материалов ограничено в связи с их экологической безопасностью, например английскими стандартами качества, запрещены масляные краски (на основе олифы), нитрокраски, а также пентафталовые (ПФ) и глифталовые (ГФ) краски.

Таким образом, главным заданием промышленности лакокрасочных материалов, учитывая условия настоящего, есть снижение содержания растворителей в лаках и эмалях и создание экологически чистых материалов за счет подавляющего использования воднодисперсных и порошковых красок.

## **11.2. Влияние лакокрасочных производств на окружающую среду.**

Источники образования сточных вод, их количество и характеристика

Сточные воды производства смол, лаков и красок образуются:

- а) в технологических процессах получения лаков, синтетических смол (фенолформальдегидных, эпоксидных, карбамидных и др.), полупродуктов минеральных пигментов;
- б) при мойке возвратной тары, аппаратуры и помещений.

Количество сточных вод производства лакокрасочных материалов, виды и концентрация загрязняющих воду веществ колеблются в широких пределах и зависят от изготавливаемого продукта и метода его получения. Обычно сточные воды содержат примеси исходного сырья промежуточных и конечных продуктов. Состав загрязняющих веществ многокомпонентный. Сюда относятся акролеин, формальдегид, фенол, фталевая и малеиновая кислоты, метанол и бутанол, ацетон, ароматические углеводороды,

смолистые вещества, хлориды щелочных металлов, сульфаты аммония и натрия.

Количество и характеристика сточных вод приведены в табл.27.

**Таблица.27**

**Количество и характеристика химически загрязнённых сточных вод предприятий лакокрасочной промышленности.**

Вид продукции	Среднегод. количество сточных вод, м <sup>3</sup> , на 1 т продукции	Концентрация загрязнений, г/л									ХПК(окисляемость биохимическая), г О/л	БПКполн, г О/л	рН
		фенолы	Формальдегид	Метанол	бутанол	Фталеная кислота	акролеин	Эфирорас-ые вещ	Сухой остаток	Прокалён остаток			
Фенолформаль-дегидные смолы(ФПФ-1)...	10,37	6,2	15	18	51	--	--	1,7	18	10	180	138	4
Эпоксидные смолы (Э-20).....	3,06	0,2	--	--	0,5	--	--	1,9	215	205	75	---	12,5
Карбамидные смолы (К-421-02).....	6,48	---	45	100	125	--	--	1,0	--	---	--	---	6,8
Алкидные смолы (ПФД-06).....	3,78	--	--	--	--	0,8	0,09	0,4	0,7	0,05	2,7	2,05	5,6

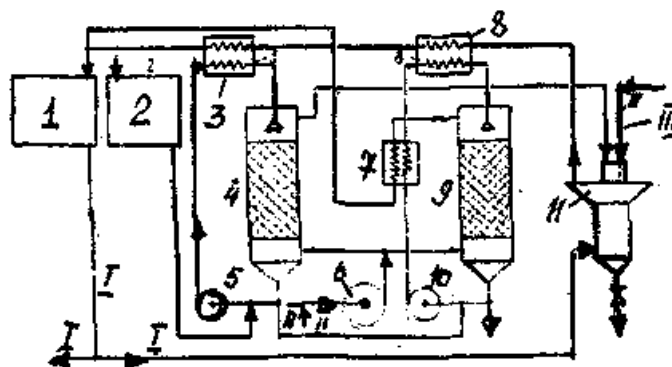
**Методы очистки сточных вод.**

Вследствие разнообразного и сложного состава сточных вод на предприятиях лакокрасочной промышленности ограничимся рассмотрением в качестве примера комплексной очистки загрязнённых сточных вод производства фенолформальдегидных смол.

Локальная очистка на I стадии - технологическая предусматривает щелочную конденсацию фенола и формальдегида, содержащихся в сточной воде, при одновременной ректификационной отгонке спиртов. Усредненные и нейтрализованные сточные воды, подогретые до температуры 60-65° С, поступают в ректификационную колонну, где после подщелачивания едким натром до рН=9-11 нагреваются до температуры 96-98° С. Из колонны отбирают метанольно-бутанольную и водно-бутанольную фракции. Первая фракция подвергается вторичной ректификации для дополнительного получения товарных продуктов, вторая разделяется на бутанольный слой, который возвращается в производство, и водный слой, присоединяемый к обрабатываемым сточным водам. Оставшаяся в кубе ректификационной колонны жидкость подается на II стадию очистки - регенерацию, которая осуществляется методом контактного испарения с применением погружной горелки (рис.16). Жидкость из сборника 2 подается насосом 5 через

теплообменник 3 в верхнюю часть скруббера 4. В нижнюю часть скруббера воздухоподувкой 6 нагнетается воздух, насыщающийся влагой и летучими примесями при контакте с подогретой сточной жидкостью. Паровоздушная смесь из скруббера 4 поступает в погружную горелку выпарного аппарата 11. В горелку подается также горючий газ, а смесь их сгорает при температуре 800-900 °С. Топочные газы барботируются через очищенную воду, насыщаются влагой и охлаждаются до температуры 87-90 °С.

**Рис.16. Схема регенерации (очистки) сточных вод производства фенолформальдегидных смол методом контактного испарения с применением погружной горелки.**



I – регенерированная вода; II – воздух; III – горючий газ.

**Таблица 28.**

**Результаты комплексной очистки сточных вод производства фенолформальдегидных смол.**

Показатели	Значение показателей		
	До очистки	После очистки на стадии	
		I	II
Температура сточных вод °С...	18-25	18-25	18-25
Концентрация загрязнений, г/л:			
Фенолы...	6,2	3,4	0,003
Формальдегид...	15	0,6	0,025
Метанол...	18	7	0,015
Бутанол....	51	12	0,02
Смолистые вещества..	1,7	1,5	Отсутствуют
ХПК(биоохроматная окисляемость),г О <sub>2</sub> /л...	180	49,2	0,42
БПК полн, г О <sub>2</sub> /л...	138,4	40,1	0,3
Минеральные вещества, г/л...	16	18	0,05
pH...	4	5,6	6

Парогазовая смесь поступает в теплообменник 8, где нагревается сточная жидкость, циркулирующая в скруббере 9, и затем в теплообменник 3 для нагрева исходной сточной жидкости, циркулирующей в скруббере 4. Конденсат и газы поступают в сборник регенерированной воды. Из

сборника часть воды снова загружается в выпарной аппарат для восполнения убыли. Вода из скруббера 4 подается насосом 10 через теплообменники 7 и 8 в скруббер 9, где также продувается воздухом. Паровоздушная смесь из скруббера 9 проходит через теплообменник 7 и отдает тепло циркулирующей сточной жидкости; конденсат и воздух также поступают в сборник. Упаренная сточная жидкость из скруббера 9 выводится в виде раствора, близкого к насыщению или суспензии. После отстаивания или фильтрования раствора его жидкая фаза может быть возвращена в скруббер 9, а соль направлена на утилизацию или термическое обезвреживание.

В табл. 28, приводятся данные о степени очистки загрязненных производственных сточных вод для рассматриваемого примера.

Очищенные воды могут быть использованы в производстве для приготовления растворов, промывки оборудования, мытья полов, тары и в других целях или направлены на биологическую очистку обычно совместно с бытовыми водами предприятия. В зависимости от местных условий (наличие разбавляющих сточных вод, использование общерайонных очистных сооружений) загрязненные воды могут быть направлены на биологическую очистку уже после I стадии локальной очистки.

Некоторые параметры установки локальной очистки (для II стадии очистки):

<b>Высота скрубберов, м .....</b>	<b>3,3</b>
<b>Поверхность насадки, м<sup>3</sup>/м<sup>5</sup>, при размерах колец Рашига 50x50x5 мм.....</b>	<b>90</b>
<b>Высота насадки, м.....</b>	<b>2,0</b>
<b>Плотность орошения, м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> .....</b>	<b>15</b>
<b>Скорость продувки воздухом, м/с...</b>	<b>1,0</b>
<b>Расход природного газа для погружной горелки м<sup>3</sup> на 1 т выпаренной влаги.....</b>	<b>70</b>

Показатели, характеризующие эффективность биологической очистки сточных вод производства фенолформальдегидных смол:

<b>БПК<sub>полн</sub> исходной воды (после разбавления), мг О<sub>2</sub>/л.....</b>	<b>500 - 525</b>
<b>Окислительная мощность аэротенка, г О<sub>2</sub>, на 1 м<sup>3</sup> сооружения в 1 сут.....</b>	<b>1560</b>
<b>Расход воздуха, м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> воды...</b>	<b>54 - 60</b>
<b>Продолжительность аэрации, ч.....</b>	<b>8</b>
<b>Прирост ила, г на 1 г снятой БПК...</b>	<b>0,08</b>
<b>БПК доли после очистки воды, мг О<sub>2</sub>/л...</b>	<b>5 - 9</b>
<b>ХПК, мг О/л....</b>	<b>30 - 170</b>
<b>Азот нитритов, мг/л.....</b>	<b>10 - 12</b>
<b>Фосфор, мг/л.....</b>	<b>0,5</b>
<b>рН .....</b>	<b>7 - 8</b>
<b>Фенолы .....</b>	<b>Отсутствуют</b>

### **Производства минеральных пигментов.**

#### **Источники образования сточных вод, их количество и характеристика.**

При производстве минеральных пигментов (диоксида титана, свинцового и цинкового кроны, железистоокисных пигментов, железной лазури, литопона, ультрамарина и др.) сточные воды образуются:

- а) в процессе разделения суспензии, поверхностной обработки и промывки пигментов;
- б) при мытье оборудования и полов.

Сточные воды содержат различные взвешенные и водорастворимые вещества. Наиболее типичными загрязнениями сточных вод являются взвесь пигментов или полупродуктов, серная кислота, сернистый натрий, сульфат железа, хлористый натрий, нитрит натрия, хромпик, нитрат свинца, хлористый барий, сернистый цинк.

Качественный состав стоков непостоянен не только для одноименных производств различных заводов, но и для отдельно взятого производства во времени.

Данные о количестве сточных вод и концентрации в них загрязняющих веществ приведены в табл.29.

Взвешенные вещества представляют собой высокодисперсную часть пигментов с размерами частиц 1 - 15 мкм. Ориентировочная скорость их осаждения не более 0,05 - 0,2 мм/с. Уточненные расчеты осаждения рекомендуется проводить на основании экспериментальных данных.



Таблица 29.

**Количество и характеристика химически загрязнённых  
сточных вод производства минеральных пигментов.**

Вид продукции	Колич.ст.вод,м³ на 1 т продукции	Концентрация загрязнении, г/л																
		Взвешен.в-ва	Водораств.в-ва	H2SO4	FeSO4	Fe2O3	NaCl	TiO2	Cr6++?Cr3+	Na2SO4	NaNO2	Pb 2+	BaCl	Zn 2+	KCl	HCl	(NH4)2SO4	pH
Двуокись титана...	60	1-3	---	18	6	---	0.6	0.8	---	---	---	---	0.05	0.05	---	---	---	2-3
Литопон...	10	1.0	6	---	---	---	2.0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	9.0
Крон свинцовый.	30	0.5	9	---	---	---	---	---	0.1	---	0.7	0.05	---	---	---	---	---	3-4
Крон свинцово-молибдатный.....	50	0.5	9	---	---	---	---	---	0.1	---	0.7	0.05	---	---	---	---	---	4-5
Крон цинковый..	9	0.5	3	---	---	---	---	---	0.2	---	---	---	---	0.05	---	---	2.0	6.0
Железоокисные пигменты..	40	2.0	---	6.0	15	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	4.0
Ультрамарин....	30	---	---	---	---	---	---	---	---	30	---	---	---	---	---	---	---	7.0
Железная лазурь.....	100	0.1	16	---	0.2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	6.8	2.7	0.3	4-2

### Методы очистки сточных вод

Очистка сточных вод от взвешенных веществ осуществляется в отстойниках (ловушках) или на фильтр-прессах (после проведения контрольного фильтрования). В малотоннажных производствах очистка от взвешенных веществ может быть осуществлена в осадительных центрифугах и центробежных тарельчатых сепараторах. Отстойники, центрифуги и сепараторы подбирают путем расчетов и моделирования на основании экспериментальных данных.

Для интенсификации процесса осаждения взвешенных веществ в ряде случаев целесообразно использовать коагулянты, флокулянта, а также электрокоагуляцию. Уловленные пигменты или полупродукты возвращаются на соответствующие стадии технологического процесса. Очищенные сточные воды, как правило, могут быть использованы в системах оборотного водоснабжения.

Удаление из воды растворенных соединений хрома, свинца, цинка, бария и железа осуществляется физико-механическими методами путем перевода их в малорастворимые соединения (гидроокиси, сульфаты, фос-

фаты, карбонаты). Осветление стоков после обработки реагентами осуществляется в отстойниках периодического или непрерывного действия. Продукты очистки вывозятся в отвал или используются как наполнители при производстве строительных материалов. Очистка сточных вод от водорастворимых солей обычно не производится.

Сточные воды большинства производств минеральных пигментов кислые, поэтому перед сбросом в городскую канализацию или водоем необходима их нейтрализация.

Воды с большим содержанием взвешенных веществ (производство литопона, железистоокисных пигментов, двуокиси титана) сбрасываются в шламонакопители-испарители или шламовые пруды. Осветленная вода из шламонакопителя передается в городскую канализацию или в водоем. Шламы производства литопона могут быть использованы в дорожном строительстве.

#### **Требования к качеству воды.**

К воде, имеющей непосредственный контакт с продуктом, в основном в пигментном производстве, предъявляются особые требования.

В производстве двуокиси титана содержание  $\text{Fe}^{3+}$  в воде до 0,2 мг/л, сухого остатка до 100 мг/л, общая жесткость составляет до 2,8 мг-экв/л. В производстве свинцовых и молибдатных кронов содержание солей до 200 мг/л, в том числе сульфатов до 10 мг/л, хлоридов до 100 мг/л, хрома шестивалентного до 1 мг/л; pH = 6-8. В производстве ультрамарина вода должна иметь общую жесткость не более 3 мг-экв/л.

#### **Характеристика сточных вод.**

Состав и концентрация загрязнений в сточных водах, выпускаемых в водоемы производствами пигментной промышленности, приведены в табл.30. Сточные воды от производства ультрамарина упариваются в печах кипящего слоя с получением товарного гранулированного сульфата натрия.

**Таблица 30.**

#### **Состав и концентрация загрязнений в сточных водах, выпускаемых в водоемы производствами пигментной промышленности.**

Показатели	Ед.измерения	Сточные воды	
		До очистки	После очистки
А.Производство двуокиси титана.			
Температура.....	°С	30	30
Взвешенные вещества.....	мг/л	6950	15-20
РН.....	---	2-3	7,5-8,0
Сухой остаток .....	мг/л	---	2000
H <sub>2</sub> S0 <sub>4</sub> .....		17800	---
FeS0 <sub>4</sub> .....		5050	---
NaCl.....		620	---
TiO <sub>2</sub> .....		765	---
Прочие сульфаты.....		1065	---

#### Б.Производство красных железистоокисных пигментов.

Температура.....	°C	30	30
Взвешенные вещества.....	мг/л	910	10-15
РН.....	---	4	7,5-8,0
FeSO <sub>4</sub> .....	мг/л	7250	---
Сухой остаток.....			2000

#### В.Производство желтых железистоокисных пигментов .

Температура.....	°C	25	25
Взвешенные вещества.....	мг/л	5000	15-20
РН.....	---	4,0	7,5-8,0
FeSO <sub>4</sub> .....	мг/л	14200	---
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....		6150	---
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....		2180	---
Сухой остаток.....		---	2000

#### Г.Производство свинцовых и свинцово-молибдатных кронов .

Температура.....	°C	25	25
Взвешенные вещества.....	мг/л	500	---
РН.....	---	3,0	7,0-8,5
Pb <sup>2+</sup> .....	мг/л	50	1.0
Cr <sup>6+</sup> и Cr <sup>3+</sup> .....		100	2.7
NO <sub>2</sub> .....		700	---
Сухой остаток.....		9000	10000

#### Д.Производство цинковых (грунтовочных кронов).

Температура.....	°C	20	20,0
РН.....	---	6,0-6,5	7,5-8,0
CrO <sub>3</sub> .....	мг/л	2000	---
ZnO.....	мг/л	300-500	---
Сухой остаток.....	мг/л	1500-2000	---

#### Е.Производство милори.

Температура.....	°C	15-20	20
Взвешенные вещества.....	мг/л	100	10
РН.....	---	4-5	7,0-8,5
Сухой остаток(R <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , FeSO <sub>4</sub> ,KCl)...	мг/л	16000	15000

Примечание: Для очистки сточных вод применяются методы нейтрализации и отстаивания.

### Выводы.

Сегодня строительные предприятия обращают больше внимания на качество, чем на безопасность лакокрасочной продукции: отдельные производители используют рецептуру, ухудшающие токсикологию и безопасность, но удешевляющие конечный продукт.

По-прежнему на Украине и в странах СНГ используют пигменты, содержащие свинец, низкокачественные растворители с высоким содержанием вредных, летучих и высокотоксичных веществ. Доля лакокрасочной продукции, не содержащей свинец, составляет всего 9 %.

От вредных растворителей и пигментов можно и надо отказываться, так как на украинских рынках появились качественные заменители.

Широкий спектр безсвинцовых сиккативов предлагают «Химпоставщик» (Украина) и «Химтекс» (Россия); «Пигмент» (Россия) и «Рубежное» (Украина). Они производят органические безопасные пигменты: жёлтый 83, жёлтый 74, оранжевый 34; качественные растворители и системы их очистки предлагают «ЛУКОЙЛ-Украина». По качеству вышеуказанные продукты всё равно уступают растворителям «Shellsol», но стоимость последних высока и не каждый отечественный производитель лакокрасочных материалов может их приобрести.

Государство должно запретить применение опасных для здоровья людей и окружающей среды лакокрасочных материалов, а также применять регламент по техническому регулированию в лакокрасочной промышленности, это необходимо сделать для вступления Украины в ВТО и Европейский союз. Вопросы качества и безопасности, загрязнения окружающей среды должны быть решены при наличии соответствующей правовой базы, которой на сегодняшний день нет.

Государственные нормативные акты должны регламентировать и отношение производителей лакокрасочных материалов и поставщиков сырья.

## **Глава 12.**

### **Охрана атмосферного воздуха от выбросов предприятий строительной индустрии.**

#### **12.1. Источники загрязнения атмосферы в строительной индустрии.**

Многочисленные исследования ученых-экологов свидетельствуют, что из всего количества загрязнённых веществ, которые выбрасываются в атмосферный воздух, около 90 % составляют газообразные вещества и примерно 10 % - твёрдые и жидкие частицы. [6].

По оценке учёных, в атмосферу поступает около  $3 \cdot 10^9$  т. газообразных, жидких и твёрдых загрязняющих веществ. В настоящее время на антропогенную деятельность человека приходится около 10 % вышеуказанного количества. Но в связи с развитием промышленности количество вредных выбросов в атмосферу может увеличиться в несколько раз.

В индустриально развитых странах (США, Англия, Германия, Япония и др.) количество выбросов в атмосферу загрязняющих веществ составляет от 350 до 1000 кг. в год на одного человека. Украина, согласно Киотского договора, может продавать часть своего не очень большого загрязнения атмосферы, более развитым странам.

#### **Классификация выбросов.**

Источники выбросов подразделяются:

- на организованные (выброс производится через специально сооруженные газоходы, воздухопроводы и трубы);

- неорганизованные (выброс производится при нарушении герметичности оборудования, неэффективной работе местных отсосов);

- по степени подвижности (на стационарные и подвижные);

- по характеру выброса (на постоянные, залповые, переменные)

оснащенности газоочистными устройствами (на оснащенные и неоснащенные);

геометрическим параметрам (на точечные, линейные, площадные);

в зависимости от высоты источника выброса над уровнем земной поверхности Н: высокие источники,  $H \geq 50$  м; источники средней высоты,  $H = 10 - 50$  м; низкие источники,  $H = 2 - 10$  м; наземные источники,  $H \leq 2$  м;

по условиям выброса (холодные, нагретые, высокоскоростные, низкоскоростные);

по агрегатному состоянию: I класс - газообразные и парообразные, II - жидкие, III - твердые, VI - смешанные.

Количество веществ, выделяющихся при технологических процессах на предприятиях строительной индустрии, зависит от многих факторов: типа и мощности оборудования, его технической оснащённости и многих других. Выделения перечисленных технологических процессов приведены в табл.31 [31-37].

**Таблица 31.**

**Предприятия строительной индустрии, загрязняющие атмосферный воздух.**

<b>Предприятия, технологические операции, оборудование.</b>	<b>Загрязняющие вещества</b>
<b>Производство цемента</b>	
Добыча материалов, дробление, измельчение, транспортировка, обжиг, сортировка, погрузка.	Пыль, оксид азота, диоксид азота, оксид углерода, цемент, клинкер, мел, глины, железосодержащие добавки, диоксид серы, продукты сгорания топлива, оксид серы, известняк, доменный шлак, боксит, песчаник, железная руда и другое.
<b>Заводы строительных материалов, силикатный кирпич.</b>	
Добыча сырья, дробление, измельчение, транспортировка, дозировка, смешивание, обжиг кирпича в печах.	Пыль, песок, известь, пар, газы горения, соединения фтора и другое.
<b>Силикатный бетон.</b>	
Тоже кроме обжига, автоклавная обработка	Пыль, известь, гипсовый камень, алюминиевая пудра, парафин, стеарин, водород, кремнезёмистые компоненты (молотый кварцевый песок или кислая зола ТЭС).
<b>Ячеистый бетон.</b>	
Добыча сырья, дробление, измельчение, транспортировка, дозировка, смешивание, автоклавная обработка.	Пыль, известь, гипсовый камень, кремнезёмистые компоненты (молотый кварцевый песок или кислая зола ТЭС).
<b>Производство извести.</b>	
Добыча материалов, дробление, измельчение, транспортировка, обжиг, сортировка, погрузка.	Пыль, известняк, доломит, диоксид углерода, комовая, карбонатная и гашенная известь, гипсовый камень, продукты сгорания топлива ( $\text{CO}_2$ , $\text{CO}$ , $\text{NO}_2$ , $\text{NO}_3$ , $\text{SO}_3$ и другое).

<b>Производство кирпича и черепицы.</b>	
Добыча материалов, дробление, рассеивание, составление шихты, формирование изделий, сушка и обжиг.	Пыль (полевого шпата, глины, песка, известняка, суглинков, отошающих добавок и другое), продукты сгорания топлива (CO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>2</sub> , NO <sub>3</sub> , SO <sub>3</sub> и другое).
<b>Производство магнезита.</b>	
Добыча материалов, дробление, рассеивание, составление шихты, формирование изделий, сушка и обжиг.	Пыль (карбоната магния и другое), продукты сгорания топлива (CO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>2</sub> , NO <sub>3</sub> , SO <sub>3</sub> и другое).
<b>Производство бетона.</b>	
Разработка, погрузка и переработка материалов при производстве бетона.	Пыль (цемент, песок и другое).
<b>Асфальтобетонное производство.</b>	
Составление шихты, сушка в барабанах, выбросы химических веществ в местах хранения асфальта, смешивание и другое.	Минеральная пыль, нефтепродукты, смолы, продукты горения топлива, химические и канцерогенные вещества и другое.
<b>Заводы крупнопанельного домостроения, ж/б изделий и конструкций.</b>	
Погрузка, разгрузка и транспортировка материалов, бетоносмесители, емкости для хранения смазочных материалов, сварка арматуры и другое.	Пыль (цемент, песок, щебень и другое), сварочная аэрозоль, окислы марганца, окислы хрома, соединения кремния, окись углерода, фтористый водород, оксид азота.
<b>Производство керамических труб.</b>	
Погрузка, разгрузка и транспортировка материалов, приготовление шихты, сушка труб, обжиг глазурованных труб.	Пыль, продукты сгорания топлива, газообразные продукты обжига и другое.
<b>Производство керамзита.</b>	
Погрузка, разгрузка и транспортировка материалов, приготовление шихты, обжиг гранул керамзита.	Пыль, продукты сгорания топлива, газообразные продукты обжига и другое.
<b>Производство керамических плиток.</b>	
Погрузка, разгрузка и транспортировка материалов, приготовление шихты, обжиг плиток, помол песка, сушка глины в барабанах.	Пыль минеральная, газы сгорания топлива и обжига.
<b>Производство санитарно-технических изделий из фаянса.</b>	
Грубый и тонкий помол материалов, сушка, обжиг изделий.	Пыль минеральная, газы сгорания топлива и обжига.
<b>Производство гипса и гипсовых изделий.</b>	
Погрузка, дробление, измельчение, выгрузка, дозирование, смешение, варка гипса в котлах и другое.	Пыль минеральная, древесные опилки, продукты варки гипса и сгорания топлива.
<b>Заводы мягкой кровли, рубероида, толи и пр.</b>	
Приготовление бумажной массы, картона, пропитка картона битумами, маслами и другое.	Пыль минеральная (мел, тальк, литопон, каолин, песок и другое), канцерогенные вещества (асбест, битумы, антраценовое масло), нефтепродукты, смолы, пыль автопокрышек, пары бензина, мастики, ароматические соединения.

<b>Производство строительного стекла.</b>	
Производство стекла, его полирование, выжигание стекла в печах и другое.	Пыль, гидрофториды, окись углерода, CO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>2</sub> , глиноземы, известь, мрамор, доломит, магнезит, сода, поташ, сульфаты щелочных металлов, оксиды тяжелых металлов, соединения фосфора, олова, сурьмы, циркония и другое.
<b>Производство строительных изделий из пластмасс.</b>	
Изготовление пластмассовых изделий (синтез полимеров, формирование изделий и их обработка).	Пыль полимеров, выбросы различных химических продуктов: - смол (мономеров), аммиака, хлористого водорода, канцерогенных веществ – фенола, бензфенол, амины, стеараты свинца, кальция и бария, асбест, фосфаты, диметил фталат, бутилстеарат, формальдегиды, анилин, пигменты – красители, бензин, циклогексан, метанол, жирные спирты, бутанол, серная кислота, мочевины.
<b>Котельные.</b>	
Работающие на твердом топливе (каменные и бурые угли).	Пыль (зола, недогоревшее топливо), сажа, дымовые газы (CO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>2</sub> , NO, SO <sub>2</sub> , SO <sub>3</sub> ) и бензапирен.
Работающие на мазуте.	Дымовые газы (CO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>2</sub> , NO, SO <sub>2</sub> , SO <sub>3</sub> ), недогоревший мазут, сажа и бензапирен.
Работающие на природном газе.	Дымовые газы (CO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>2</sub> , NO).

Примечание: Аэрозоль – пыль и туман.

В таблице 32 приводятся средние концентрации пыли в воздухе рабочих зон производственных помещений, предприятий строительной индустрии при отсутствии вытяжной вентиляции.

Таблица 32.

**Средняя концентрация пыли в воздухе рабочих зон производственных помещений [6].**

<b>Наименование производственных помещений, технологических процессов.</b>	<b>Концентрация пыли, мг/м<sup>3</sup></b>
Цементный завод	100-700
Барабанные сушилки для извести	20-200
Цех механической обработки древесины	25-100
Цех деревянностружечных плит	50-250
Ленточный конвейер для дробленых строительных материалов	100-300
Дробилки и мельницы	Свыше 30
Фарфоровые и фаянсовые заводы	Свыше 120

Лесопильный цех	20-40
Удельное выделение пыли при шлифовании (пыль абразивная и механическая), г/с	0,040-0,310
Удельное выделение сварочной аэрозоли при сварке металлов (в г/кг расходуемых сварочных материалов).	3,8-48,0 или 1-20 мг/м <sup>3</sup>
Литейной производство, кг/т	4,8-9,9
Обмывка грузовых вагонов	До 10

Газообразные выбросы – сернистый ангидрид, диоксид углерода, оксид и диоксид азота, фтористые соединения, сероуглерод, аммиак, фенол и другие.

Жидкие выбросы – кислоты, щелочи, сточные воды, растворы солей, растворы жидких металлов, органические соединения, синтетические материалы и другие.

Твердые выбросы – канцерогенные вещества (асбест и другие), органическая пыль, минеральная пыль (песка, известняка, цемента и другого), сажа, смолы и другие вещества.

Выбросы подлежат периодической инвентаризации, под которой понимается систематизация сведений о распределении источников выбросов по территории объекта, их количества и состав.

**Таблица 33.**

**Удельные выделения пыли в технологических процессах сушки и транспортировки песка в кг / т сухого песка.**

Сушка песка в печи	Загрузка песка в емкостное хранилище	Загрузка песка в раздаточный бункер	Загрузка песка в бетономешалку
2,0	4,0	1,5	7,5

**Таблица 34.**

**Выделение пыли в процессах переработки строительных материалов.**

Процессы, оборудование	Расчетный объём аспирации из укрытия оборудования, тыс. м <sup>3</sup> /ч	Масса выделяющейся пыли	
		На единицу массы перерабатываемого материала, кг/т	На единицу времени работы оборудования, кг/ч
1	2	3	4
Сушильные барабаны горизонтальные, производительностью до 5 т/ч:			
Песка	3,0-4,5	6,3-9,0	27,0-31,5
Глины	3,2-5,0	4,3-5,2	12,9-25,0
Шлака	5,0-8,0	30,3-41,4	124,2-151,5
Сушильные барабаны горизонтальные, производительностью до 25 т/ч:			
Песка	25,0-30,0	3,0-5,8	75,0-121,8
Глины	29,5-35,5	3,0-4,0	75,0-84,0
Шлака	35,0-42,5	20,3-26,2	507,5-550,2



**Продолжение табл.34.**

Установка сушки песка в кипящем слое производительностью, т/ч:			
3	8-9	7,4-9,5	22,2-28,5
10-16	25-35	6,8-8,7	68,0-108,8
25,0	58-62	5,6-7,8	140-195
Дробилки щитовые, производительностью т/ч:			
до 5	0,8-1,5	1,5-2,7	7,5-13,5
10-13	3,0-5,0	1,9-3,6	19,0-46,8
Дробилки конусные, производительностью до 20-30 т/ч:			
20-30	7-8	2-5	15-60
Дробилки молотковые, производительностью до 5 т/ч:			
до 5	2,5-3,7	2,8-4,9	14,0-24,5
Дробилки валковые, производительностью до 3,5 т/ч:			
до 3,5	1,5-2,5	2,5-4,0	8,7-14,0
Дезинтегратор для помола глины диаметром 1350 мм			
1350 мм	6,0-6,5	1,3-2,2	12,6-18,0
Бегуны для помола глины, производительностью т/ч:			
3-5	1,6-1,8	0,3-0,8	1,7-2,5
8-10	1,9-3,0	0,4-0,9	3,2-9,0
Мельница шаровая, производительностью до 1 т/ч:			
до 1	0,9-1,5	4,0-10,0	4,0-10,0
Грохоты качающиеся, вибрационные и инерционные с рабочей площадью, м <sup>2</sup> :			
1	1,6-2,4	---	8,5-31,2
3	4,1-4,8	---	20,0-62,4
Сито плоское вибрационное, производительностью, м <sup>3</sup> /ч:			
160	10-12	3,0-5,0	192-320
250	16-17	3,0-5,0	300-500
Бункеры песка	1,5-1,7	---	1,5-1,6
Бункеры глины	0,7-1,0	---	3,5-4,1
Тарельчатый питатель	0,6-1,0	0,6-0,8	2,0-2,5
Питатели лотковые	0,6-0,8	0,4-0,7	1,2-2,1
Узлы перегрузок:			
С грохота на ленточный конвейер	1000-4300	5,0-3,0	7,0-10,0
С ленточного конвейера на ленточный конвейер	8000-10000	7,0	10,0

Примечание: 1. К массе пыли, выделенной сушильным оборудованием, добавляются вредные компоненты, образующиеся при сжигании топлив.  
2. При просеивании материалов с температурой > 50 °С, выделение пыли увеличивается на 20 - 25 %.

Таблица 35.

**Характеристика перерабатываемого материала.**

Наименование материала	Плотность материала, г/см <sup>3</sup>	Весовая доля пылевой фракции в материале	Доля пыли, переходящая в аэрозоль.
Известняк	2,7	0,04	0,02
Гранит	2,8	0,02	0,04
Доломит	2,7	0,05	0,02
Песчаник	2,6	0,04	0,01
Диорит	2,8	0,03	0,06
Порфириоиды	2,7	0,03	0,07

Таблица 36.

**Интенсивность пылевыведения некоторых машин в карьерах.**

Источник выделения пыли	Интенсивность пылевыведения		примечания
	мг/с	г/ч	
Буровой станок (зависит от марки станка)	27 <sup>*)</sup> - 2200	97 <sup>*)</sup> - 7920	С пыле <sup>*)</sup> и без пылеуловителей
Экскаватор	120 - 500 <sup>*)</sup>	432 - 1800 <sup>*)</sup>	Погрузка мокрой и сухой <sup>*)</sup> породы
Бульдозер	250	900	При работе по сухой породе
Автосамосвалы	5000	18000	При движении по сухой дороге без твёрдого покрытия

По величине дисперсности частиц аэрозоли подразделяют на пять групп:

I – очень крупнодисперсные,  $d > 140$  мкм (аппараты пылегазоочистки: пылеосадительные камеры, циклоны и другое).

II – крупнодисперсные,  $d = 40-140$  мкм (аппараты пылегазоочистки: пылеосадительные камеры, циклоны и другое).

III - среднедисперсные,  $d = 10-40$  мкм (фильтры различные, скрубберы и др.)

IV - мелкодисперсные,  $d = 1-10$  мкм (фильтры, электрофильтры и др.)

V - очень мелкодисперсные,  $d < 1$  мкм (мокрые электрофильтры и др.)

**12.2. Расчёт выбросов от теплоэнергетических установок (котельных).**

На большинстве предприятий строительной индустрии имеются котельные для обогрева помещений, получения пара (для автоклавов, и др.) и горячей воды и т.д. Так, в Днепропетровске (на декабрь 2000 г.) приходилось 360 котелен, из 27 котелен принадлежало предприятиям строительной индустрии (100 % обеспеченность своими котельными), давление газа в котлоустановках 2 – 2,5 атм.

**Расчет выбросов твердых частиц летучей золы и недогоревшего топлива** (т/год, г/с), выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами котлоагрегатов в единицу времени при сжигании твердого топлива и мазута, выполняется по формуле:

$$M_{\text{ТВ}} = B \cdot A^P \cdot f \cdot (1 - \eta_3);$$

где В - расход топлива, т /год;  $A^p$  - зольность топлива на рабочую массу, %;  $\eta_3$  - доля твердых частиц улавливаемых в золоуловителях:

$$f = A_{ун}/(100 - \Gamma_{ун})$$

$A_{ун}$  – доля золы топлива в уносе, %,  $\Gamma_{ун}$  – содержание горючих в уносе, %.

Значения  $A^p$ ,  $A_{ун}$ ,  $\Gamma_{ун}$ ,  $\eta_3$  применяют по фактическим средним показателям;  $\eta_3$  – по техническим данным применяемых золоуловителей,  $f$  – по табл.37.

**Пример.** Определить количество золы, удаляемой с дымовыми газами от котлоагрегата производительностью по пару 2.5 т/ч при сжигании в нем каменного угля марки ОС Донецкого бассейна. За котлом установлено золоуловитель циклонного типа. Расход топлива  $Q_{\max} = 210$  кг /ч.  $Q_{\text{год}} = 720$  тонн. Топка с неподвижной решеткой и ручным забросом топлива.

**Порядок расчета:**

Зольность топлива  $A^p = 27,9\%$ .

Коэффициент  $f$  для каменного угля и топки с неподвижной решеткой и ручным забросом топлива по табл.37.  $f = 0,0023$ .

**Расход топлива, г/с:**

$$B_c = Q_{\max} \cdot 1000 / 3600 = 210 \cdot 1000 / 3600 = 58.33.$$

**Таблица 37.**

**Значения коэффициентов  $f$  и  $K_{co}$  в зависимости от топки и вида топлива.**

Тип топки	Вид топлива	$f$	$K_{co}$ , кг/ГДж
С неподвижной решеткой и ручным забросом топлива	Бурые и каменные угли	0,0023	1,9
	Антрациты:		
С пневмомеханическими забрасывателями и неподвижной решеткой	АС и АМ	0,0030	0,9
	АРШ	0,0078	0,8
	Бурые и каменные угли	0,0026	0,7
	Антрацит АРШ	0,0088	0,6
С цепной решеткой прямого хода	Антрацит АС и АМ	0,0020	0,4
С забрасывателями и цепной решеткой	Бурые и каменные угли	0,0035	0,7
Шахтная	Твердое топливо	0,0019	2,0
Шахтно-цепная	Торф кусковой	0,0019	1,0
Наклонно-переталкивающая	Эстонские сланцы	0,0025	2,9
Слоевые топки бытовых	Дрова	0,0050	14,0
Теплоагрегатов	Бурые угли	0,0011	16,0
	Каменные угли	0,0011	7,0
	Антрацит, тощие угли	0,0011	3,0
Камерные топки:			
паровые и			
водонагревательные котлы	Мазут	0,01	0,32
бытовые теплоагрегаты	Газ природный,	—	0,25
	попутный и коксовый	—	0,08
	Газ природный	0,01	0,16
	Легкое жидкое топливо		

Эффективность золоуловителя циклонного типа  $\eta_3 = 70\%$  или 0,7.

Количество золы, выбрасываемой в атмосферу : дымовыми газами, г/с:

$$M_{\text{тв.с}} = 0,0023 \cdot 58,33 \cdot 0,279 / (1 - 0,7) = 0,125 \text{ т/год}$$

$$M_{\text{тв.с}} = 720 \cdot 0,0023 \cdot 0,279 / (1 - 0,7) = 1,54 \text{ т/год}$$

Расчет выбросов оксидов серы в пересчете  $SO_2$  (т/год.г/с), выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами котлоагрегатов в единицу времени, выполняют по формуле:

$$M_{SO_2} = 0,02 \cdot B \cdot S^p \cdot (1 - \eta'_{SO_2}) \cdot (1 - \eta''_{SO_2});$$

где  $B$  - расход твердого и жидкого топлива т/год, т/ч, г/с; газообразного топлива, тыс.м<sup>3</sup>/год, тыс.м<sup>3</sup>/ч, л/с;  $S^p$  - содержание серы в топливе на рабочую массу, %; для газообразного топлива кг/100·м<sup>3</sup>;  $\eta'_{SO_2}$  - доля оксидов серы, связанных летучей золой топлива, принимается при сжигании сланцев – 0,5; для углей Донецкого бассейна – 0,1; для торфа – 0,15; мазута – 0,02; газа – 0,0;  $\eta''_{SO_2}$  - доля оксидов серы, улавливаемых золоуловителем принимается равной нулю для сухих золоуловителей (циклоны, электрофилтры), для мокрых - в зависимости от щелочности орошаемой воды (рис. 17).[32]

При наличии в топливе сероводорода расчет выбросов дополнительного количества оксидов серы в пересчете на  $SO_2$  ведется по формуле :

$$M_{SO_2} = 1,88 \cdot 10^{-2} / H_2S \cdot B,$$

где  $H_2S$  - содержание сероводорода в топливе, %.

### Пример

Определить количество оксидов серы, удаляемых с дымовыми газами от котлоагрегата при сжигании в нем мазута с теплотой сгорания  $Q_{HP} = 4200$  кДж/кг и сернистостью  $S^p = 3$  %. Расход топлива  $B = 700$  кг/ч. Отходящие дымовые газы после котлоагрегата промываются водой с щелочностью 5 мг/(моль л).

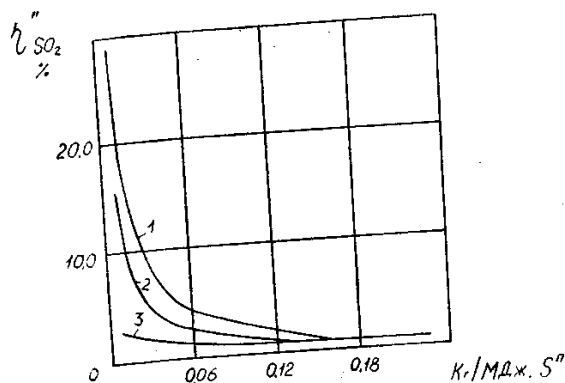
### Порядок расчета

Приведенная сернистость топлива, кг/МДж,

$$S^n = 3/100 \cdot 4,2 \approx 0,01.$$

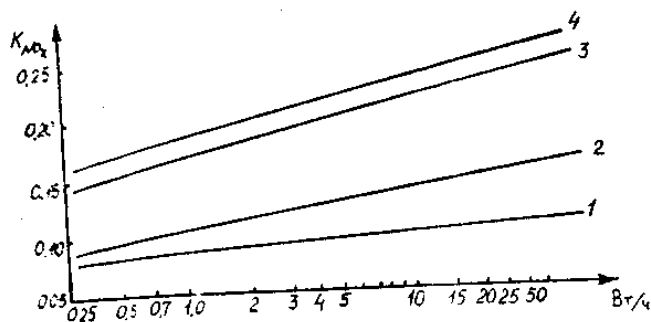
Доля оксидов серы, связанных летучей золой в котле,  $\eta'_{SO_2} = 0,02$ .

Степень улавливания оксидов серы, в мокрых золоуловителях при щелочности 5 мг/(моль л) согласно рис. 17  $\eta''_{SO_2} \approx 15$  %.



**Рис.17. Степень улавливания оксидов серы в мокрых золоуловителях при щелочности воды:**

1-10 мг/моль·л; 2-5 мг/моль·л; 3-0 мг/моль·л;  $S^n$  – приведённая сернистость топлива.



**Рис.18. Зависимость  $K_{NO_2}$  от паропроизводительности котлоагрегата для различных топлив.**

1- природный газ; 2 – антрацит; 3 – бурый уголь; 4 – каменный уголь.

Количество оксидов серы, удаляемых с дымовыми газами, г/с:

$$G_{SO_2} = 0,02 \cdot 700 \cdot 1000 \cdot 0,03(1 - 0,02) \cdot (1 - 0,15)/3600 = 0,097.$$

**12.3. Расчет выбросов оксида углерода (т/год, г/с) при сжигании топлива в котлах производительностью до 30 т/ч** рассчитывают по формуле:

$$M_{CO} = 0,001 \cdot C_{CO} \cdot B \cdot (1 - q_4/100),$$

где  $B$  - расход топлива, т/год, тыс.м<sup>3</sup>/год, г/с, л/с;  $C_{CO}$  - выход (оксида углерода при сжигании топлива, кг/т, кг/тыс.м<sup>3</sup> топлива;

$$C_{CO} = q_3 \cdot R \cdot Q^P_n,$$

где  $q_3$  - потери теплоты вследствие химической неполноты сгорания топлива, %;  $R$  - коэффициент, учитывающий долю потери теплоты, обусловленную присутствием в продуктах неполного сгорания СО; принимают для твердого топлива равным 1,0; газа - 0,5; мазута - 0,65;  $Q^P_n$  - низшая теплота сгорания топлива, МДж/м<sup>3</sup>,  $q_4$  - потери теплоты, вызванные механической неполнотой сгорания топлива, %.

Ориентировочная оценка выбросов оксида углерода (т/год, г/с) может проводиться по формуле:

$$M_{CO} = 0,001 \cdot B \cdot Q^P_n \cdot K_{CO} \cdot (1 - q_4/100).$$

где  $K_{CO}$  - количество оксида углерода, образующееся на единицу тепла, выделяющегося при горении топлива, кг/ГДж

### Пример

Определить количество оксида углерода удаляемого с дымовыми газами котлоагрегата производительностью 2 т/ч при сжигании природного газа в камерной топке.

Расход топлива  $B = 180 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Теплота сгорания природного газа Полтавского месторождения  $Q^P_n = 35,7 \text{ МДж/м}^3$

### Порядок расчета

Количество СО, образующееся на единицу тепла, для паровых водогрейных котлов при сжигании природного газа  $K_{CO} = 0,25 \text{ кг/ГДж} = 250 \text{ г/ГДж}$ .

Потери теплоты, вызванные механической неполнотой сгорания топлива  $q_4 = 0,0 \%$

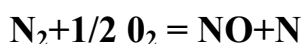
Количество СО, образующееся при сжигании 1 м<sup>3</sup> природного газа, г:

$$250 \cdot 35,7 / 1000 = 8,925.$$

Количество СО, выбрасываемого с дымовыми газами, г/с:

$$M_{co} = 8,925 \cdot 180 / 3600 = 0,446$$

**Расчет выбросов оксидов азота.** Концентрация оксидов азота быстро возрастает с повышением температуры и достигает существенных значений при температуре выше 1750 °С. При этом наибольшую концентрацию имеет низший оксид азота NО, в то время, как содержание высших оксидов NО<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> является незначительным. Окисление азота можно представить следующим образом:



Образовавшийся в ядре горения топочной камеры NО практически не может быть окислен кислородом дымовых газов за то короткое время, измеряемое секундами, в течение которого газы движутся в пределах парогенератора внешних газоходов и дымовой трубы. Таким образом, в атмосферу выбрасывается в основном NО, который постепенно может окисляться до NО<sub>2</sub> при движении в атмосферном воздухе.

Количество оксидов азота в пересчете на NО<sub>2</sub>, выбрасываемых за единицу времени (т/год, г/с), рассчитывают по формуле:

$$M_{NO_2} = 0,001 \cdot B \cdot Q_{p_n} \cdot K_{NO_2} \cdot (1 - \beta)$$

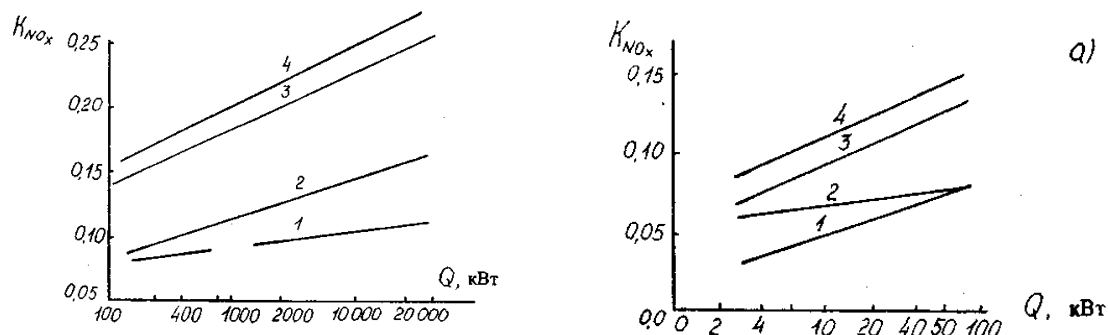
где В – расход топлива за рассматриваемый период времени, т/год, г/с, тыс.м<sup>3</sup>/год; Q<sub>p<sub>n</sub></sub> – теплота сгорания топлива, МДж/кг, МДж/м<sup>3</sup>. K<sub>NO<sub>2</sub></sub> – параметр, характеризующий количество оксидов азота, образующихся на 1 ГДж тепла, кг/ГДж; β – коэффициент зависящий от степени снижения оксидов азота в результате применения технических решений. Значения K<sub>NO<sub>2</sub></sub> определяют по графикам (рис 18 и 19) для различных видов топлив в зависимости от номинальной нагрузки котлоагрегатов. При нагрузке котла, отличающейся от номинальной K<sub>NO<sub>2</sub></sub> следует умножить на (Q<sub>ф</sub>/Q<sub>н</sub>)<sup>0,25</sup> или на (Д<sub>ф</sub>/Д<sub>н</sub>)<sup>0,25</sup>, где Д<sub>н</sub>, Д<sub>ф</sub> – соответственно номинальная и фактическая теплопроизводительность, кВт.

Если имеются данные о содержании оксидов азота в дымовых газах (%), то выброс, кг/год вычисляют по формуле:

$$M_{NO_x} = 20,4 \cdot C_{NO_x} \cdot V \cdot B(1 - q_4/100),$$

где C<sub>NO<sub>x</sub></sub> – известное содержание оксидов азота в дымовых газах, % объёмные; V – объём продуктов сгорания топлива при известном коэффициенте избытка χ<sub>yx</sub>:

$$V = V^{\circ}_g \cdot \chi_{yx}$$



**Рис.19. Зависимость  $K_{No}$  от тепловой мощности котлоагрегата для различных топлив при  $Q$  от 0 до 100 кВт (а) и  $Q$  от 100 кВт и более (б): 1 - природный газ; 2 - антрацит; 3 - бурый уголь; 4 - каменный уголь.**

где значения  $V^o_r$  и  $\chi_{yx}$ ,  $B$ - расход топлива, т/год., тыс.м<sup>3</sup>/год.

Для расчета содержания оксидов азота при сжигании мазута и газа на стадии проектных разработок рекомендуется следующий метод.

Необходимыми исходными данными для расчета содержания оксида азота являются:

$B^r$  - расход топлива на горелку, кг/с - для мазута, м<sup>3</sup>/с - для газа (если расход на горелку  $B^r$  известен в т/ч или в 1000 м<sup>3</sup>/ч, то эта величина делится на 3,6);

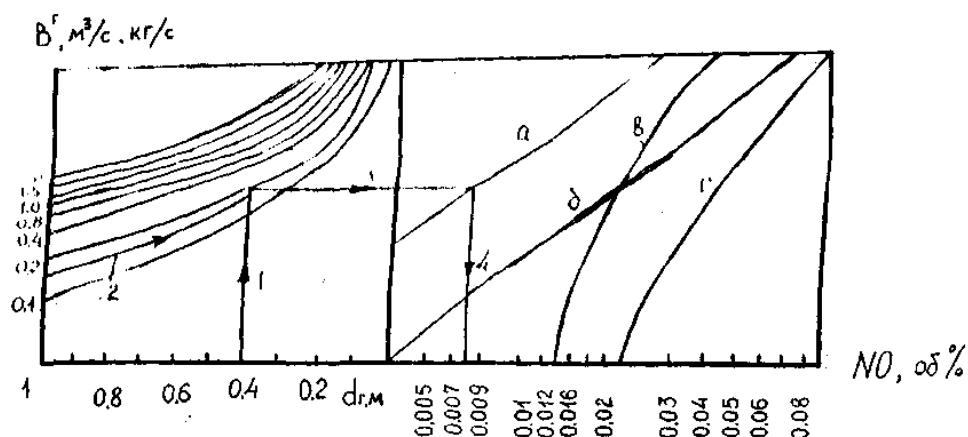
диаметр амбразуры горелки (свободное сечение), м;

коэффициент избытка воздуха в горелке;

информация о наличии или отсутствии подогрева воздуха, подаваемого на горение.

Расчет содержания оксидов азота в дымовых газах производится в следующем порядке:

1. На диаграмме рис. 20 на шкале, обозначенной как  $d_r$  - диаметр горелки, берется точка, соответствующая диаметру амбразуры горелки, и из нее проводится вертикальная линия (на рис.20 она показана стрелкой 1).
2. На шкале  $B^r$  (расход газа или мазута на горелку) берется точка, соответствующая расходу топлива на горелку в кг/с - для мазута или в м<sup>3</sup>/с - для газа, и проводится кривая, параллельная нарисованной до пересечения с прямой 1 (рис.20 эта кривая показана стрелкой 2).



**Рис.20. Диаграмма для определения концентрации оксидов азота в продуктах сгорания жидкого газообразного топлива:**

**а - газ + холодный воздух;**

**б- газ + горячий воздух; в - мазут + холодный воздух;**

**г- мазут + горячий воздух.**

3. Из точки пересечения первой и второй линий проводится горизонтальная прямая (на рис. 20 она показана стрелкой 3) до пересечения с той кривой, которая соответствует имеющимся условиям. Возможны варианты: сжигание газа в смеси с холодным воздухом, сжигание газа с подогревом воздуха, сжигание мазута холодным воздухом, сжигание мазута с подачей подогретого воздуха. На рис. 20 стрелка 3 проведена до прямой, отвечающей сжиганию газа с холодным воздухом. Из точки пересечения прямой 3 с кривой опускается вертикаль до шкалы NO (концентрация оксидов азота в % об. при  $\chi_r = 1$ ). На рис.20 - прямая 4.

Если коэффициент избытка воздуха в горелках  $\chi_r \neq 1$ , то проводится пересчет полученной концентрации оксидов азота по формуле:

$$NO'_x = (NO_x) \cdot K\chi_r$$

где  $NO'_x$  - концентрация оксидов азота при  $\chi_r \neq 1$ , % об;  $NO_x$  - концентрация оксидов азота при  $\chi_r = 1$ , % об.;  $K\chi_r$  – поправочный коэффициент, характеризующий образование оксидов азота.

Концентрация  $NO'_x$  в дымовых газах и параметр, характеризующий количество оксидов азота, могут быть пересчитаны в единицы г/м<sup>3</sup> продуктов сгорания топлива и в кг/ГДж по формулам:

$$C_{NO} = 20,4 \cdot NO'_x \cdot K\chi_r;$$

$$K_{NO_2} = 20,4 \cdot NO'_x \cdot V/Q^p_n,$$

Где V - объем продуктов сгорания единицы топлива, м<sup>3</sup>/кг .

### Пример

Рассчитать концентрацию оксида азота в дымовых газах котла ДКВР-10-13, работающего на природном газе ;

Расход топлива на горелку  $B = 0,17$  м<sup>3</sup>/с . Количество горелок - 2. Объем продуктов сгорания при коэффициенте избытка воздуха в



горелке  $\chi_r = 1$  равен  $V^r = 10,73 \text{ м}^3/\text{кг}$ . Диаметр горелки  $d_r = 0,42 \text{ м}$ . Коэффициент избытка воздуха в горелке  $\tau = 1,05$ . Подогрев воздуха отсутствует.

### Порядок расчета

Определение концентрации оксидов азота в продуктах сгорания газа показано на рис.20 именно для этого случая:  $NO'_x = 0,0085 \text{ об. \%}$ , определяем поправочный коэффициент, соответствующий  $\chi_r = 1,05$ . По графику это будет коэффициент  $K_\chi = 1,07$ .

Концентрация оксидов азота в дымовых газах,  $\text{г}/\text{м}^3$ :

$$C_{NO} = 20,4 \cdot 0,0085 \cdot 1,07 = 0,185.$$

Учитывая, что на котле установлены две горелки, получаем количество дымовых газов,  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

$$10,73 \cdot 2 \cdot 0,17 \cdot 3600 = 13134.$$

Тогда общий выброс оксидов азота,  $\text{кг}/\text{ч}$ ,

$$13134 \cdot 0,185 = 2430 \text{ г}/\text{ч} = 2,43.$$

Для котлоагрегатов производительностью более 30 т/ч, количество оксидов азота в пересчете на  $NO_2$ , выбрасываемых с дымовыми газами, можно определять по следующим формулам  $\text{кг}/\text{ч}$ :

при  $Q^p_n$  выраженном в  $\text{кДж}/\text{кг}$  или  $\text{кДж}/\text{м}^3$ ,

$$M_{NO_2} = 3,4 \cdot 10^{-5} \cdot K \cdot B \cdot Q^p_n \cdot (1 - q_4/100) \cdot \beta_1 \cdot (1 - \beta_2 \cdot \gamma) \cdot \beta_3,$$

при  $Q^p_n$ , выраженном в  $\text{ккал}/\text{кг}$  или  $\text{ккал}/\text{м}^3$ ,

$$M_{NO_2} = 0,143 \cdot 10^{-3} \cdot K \cdot B \cdot Q^p_n \cdot (1 - q_4/100) \cdot \beta_1 \cdot (1 - \beta_2 \cdot \gamma) \cdot \beta_3,$$

где  $K$  - коэффициент, характеризующий выход диоксида азота,  $\text{кг}$ , на 1 т условного топлива;  $B$  - расход твердого, жидкого или газообразного топлива,  $\text{т}/\text{ч}$  или  $1000 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $q_4$  - потери тепла от механической неполноты сгорания, %,  $\beta_1$  - поправочный коэффициент, учитывающий влияние качества сжигаемого топлива (содержание азота и способы, шлакоудаления) на выходов оксидов азота;  $\beta_2$  - коэффициент, характеризующий эффективность воздействия рециркулирующих газов на выход оксидов азота в зависимости от условий подачи их в топку. Значения  $\beta_2$  принимаются от 0,03 до 0,005;  $\gamma$  - степень рециркуляции дымовых газов, %;  $\beta_3$  - коэффициент учитывающий конструкцию горелок (для вихревых горелок  $\beta_3 = 1$ , для прямоточных горелок  $\beta_3 = 0,85$ ).

Коэффициент  $K$  для котлоагрегатов паропроизводительностью более 70 т/ч при сжигании газа и мазута, а также при высокотемпературном сжигании твердого топлива с нагрузками выше 75 % номинальной определяют по формуле:

$$K = 12 \cdot D_{\phi} / (200 + D_{\phi}).$$

### Пример

Определить количество диоксидов азота, поступающих в атмосферу с дымовыми газами котлоагрегата при сжигании в нем природного газа.

Расход топлива  $B = 3000 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $Q^p_H = 35910 \text{ кДж/м}^3 = 8550 \text{ ккал/м}^3$ . Горелки вихревые. В котлоагрегате отсутствует рециркуляция дымовых газов. Паропроизводительность котла  $D_f = 23 \text{ т/ч}$ .

### Порядок расчета

Коэффициент, характеризующий выход оксидов азота, кг на одну тонну условного топлива: \*)

$$K = D_f / 20 = 23 / 20 = 1,15.$$

Потери тепла от механической неполноты сгорания (согласно нормативному методу теплового расчёта агрегатов)  $q_4 = 0\%$ .

Коэффициент  $\beta_1$ , для газообразного топлива равен 0,85.

Коэффициент  $\beta_3$ , для вихревых горелок принимаем равным 1.

Количество оксидов азота в пересчете на  $\text{NO}_2$  при нормальных условиях:

при  $Q^p_H$ , выраженном в  $\text{кДж/м}^3$ :

$$M_{\text{NO}_2} = 3,4 \cdot 10^{-5} \cdot 1,15 \cdot (3000/850) \cdot 35910 \cdot (1 - 0/100) \cdot 0,85 \cdot (1 - 0,03 \cdot 0) \cdot 1 = 4,2 \text{ кг/час} \\ = 1,17 \text{ г/с};$$

при  $Q^p_H$ , выраженном в  $\text{ккал/м}^3$ :

$$M_{\text{NO}_2} = 0,143 \cdot 10^{-3} \cdot 1,15 \cdot (3000/850) \cdot 8550 \cdot (1 - 0/100) \cdot 0,85 \cdot (1 - 0,03 \cdot 0) \cdot 1 = 4,2 \\ \text{кг/час} = 1,17 \text{ г/с};$$

Чтобы определить количество оксидов азота, поступающих в атмосферу в течение суток или года, в формулы нужно подставить значения расходов твердого, жидкого или газообразного топлива за сутки или за год.

### 12.3. Методы очистки атмосферного воздуха.

Выбросы в атмосферу подлежат очистке. Под очисткой понимается отделение воздуха от выбросов вредных веществ. В настоящее время существуют разнообразные газоочистные установки и устройства, в которых используются механические, физические, физико-химические методы удаления из воздуха вредных примесей. Механические методы основаны на использовании сил тяжести, сил инерции, центробежных сил, диффузии, захвата и др. Физические методы базируются на использовании электрических и электростатических полей, процессов охлаждения, конденсации и кристаллизации, а физико-химические - на процессах сорбции (адсорбции, абсорбции, хемосорбции), коагуляции, флотации и др. рис.21).

Выбор метода очистки зависит от многих факторов: концентрации извлекаемого компонента в отходящих газах, объёма и температуры газа, содержания примесей, требуемой степени очистки и др. Окончательный выбор производят на основании технико-экономических расчётов различных вариантов.

Газоочистные установки (ГОУ) и устройства подразделяются по видам и агрегатному состоянию очищаемого вещества на установки по очистке газоздушных смесей от твердых примесей, от жидких примесей и аэрозолей, газообразных веществ, выхлопных газов автотранспорта.

**Рис.21. Классификация методов и аппаратов для очистки пылегазообразных выбросов.**



### 12.3.1. Механические методы очистки пылегазообразных выбросов.

Механическая очистка используется для удаления твёрдых частиц из пылегазообразных выбросов.

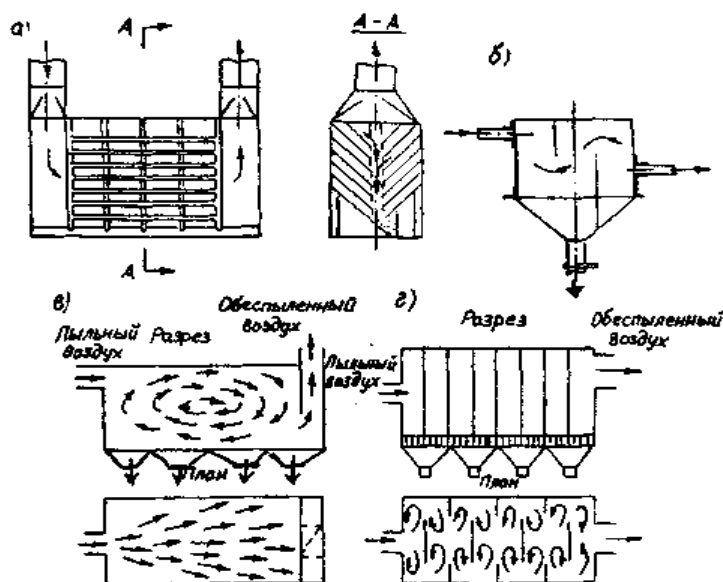
#### 12.3.1.1. Гравитационные и инерционные пылеуловители.

К сухим механическим пылеуловителям относят аппараты, в которых использованы различные механизмы осаждения: гравитационный (пылеосадительные камеры), инерционный (камеры, осаждение пыли в которых происходит в результате изменения направления движения газового потока или установки на его пути препятствия) и центробежный (одиночные, групповые и батарейные циклоны, вихревые и динамические пылеуловители).

Перечисленные аппараты отличаются простотой изготовления и эксплуатации, их достаточно широко используют в промышленности. Однако эффективность улавливания в них пыли не всегда оказывается достаточной, в связи с чем они часто выполняют роль аппаратов предварительной очистки газов. Типы пылеосадительных камер показаны на (рис.22). Пылеосадительные камеры применяются для осаждения тяжелой пыли с размером частиц 50 мкм.

\*) – Одна тонна условного топлива по теплотворной способности эквивалента 1 т каменного угля, 2,5 т бурого угля; 0,7 нефти и 750-850 м<sup>3</sup> газа.

Рис.22.Схемы пылеосадительных камер.



а – многоярусная пылеосадочная камера; б – пылеосадочная камера бункерного типа; в – простая камера; г – лабиринтовая камера (инерционный пылеотделитель).

Пылевые камеры действуют по принципу осаждения частиц при медленном движении пылегазового потока через рабочую камеру, поэтому основными размерами камеры являются ее высота и длина (рис. 23).

Геометрические размеры определяют время пребывания пылегазового потока в камере.

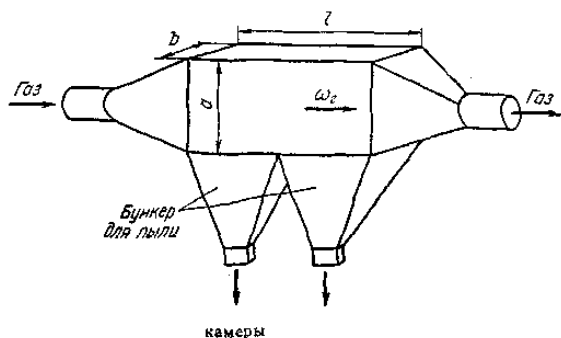
Пылевые камеры громоздки и имеют низкую эффективность. Поэтому они применяются в основном для улавливания крупных частиц сырьевых материалов после вращающихся цементных печей, печей для обжига магнезита и доломита и др.

Камеры изготавливают из кирпича, железобетона или стали.

Ниже приведены рекомендации по выбору максимально допустимой скорости газов в осадительных камерах для различных пылей:

Источник пыли	Плотность частиц, кг/м <sup>3</sup>	Среднегеометрический размер частиц, мкм	Максимально допустимая скорость газов, м/с
Асбест	2200	261	5,0
Известняк	2780	71	6,4
Неметаллическая пыль из плавильных печей	3020	117	5,6
Оксид свинца	8260	14,7	7,6
Доломит	2620	71	4,5
Магнезит	2717	68	5,0
Цемент	2572	63	5,7

Ясно, что при выборе скорости необходимо учитывать свойства материала. Например, сажа подхватывается при очень маленьких скоростях (до 0,8 м/с), тогда как для агрегированных частиц (цемент, кокс) допустимы более высокие скорости.



**Рис.23. Схема пылевой камеры.**

Так, газы вращающейся печи для обжига доломита, проходя через пылевую камеру объемом 3200 м<sup>3</sup> (длиной 29,8, шириной 18, высотой 6 м) со скоростью 1,4 м/с и находясь в камере около 20 с, очищались от пыли на 40 %.

Приближенный расчет пылевых камер сводится к определению площади осаждения, т. е. площади дна камеры или полок по заданному размеру частиц пыли, подлежащих выделению из газового потока. При этом принимают ряд допущений: пыль равномерно распределена по сечению камеры, как по концентрации, так и по дисперсности; она состоит из шаровых частиц;

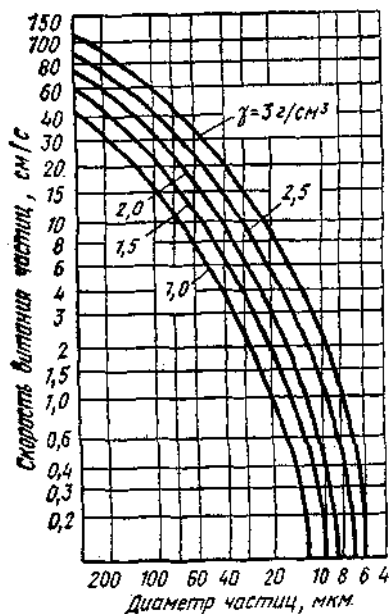
скорость газа по сечению камеры принимается равномерной; результат действия конвекционных токов и турбулентности газового потока на частицы пыли равен нулю; осевшая пыль не уносится из камеры.

При расчетах используют формулы или номограмму (рис.24), но в последнем случае учитывают влияние температуры на вязкость, а, следовательно, и на скорость падения частиц. Например, требуется найти скорость падения частиц в газе при температуре 400 °С; диаметр частиц 20 мкм, плотность 2,5 г/см<sup>3</sup>. По номограмме (см. рис. 24) находим, что такая частица будет падать в воздухе при 20 °С со скоростью 6 см/с. Вязкость воздуха при 20 °С равна 18,2 Па·с, а при 400 °С 32,8 Па·с. Отсюда при 400 °С частица будет падать со скоростью  $3 \cdot 18,2 : 32,8 = 1,66$  см/с.

Зная дисперсный состав пыли, по номограмме находят скорость осаждения частиц. Затем с учетом объема газов, подлежащих очистке  $V$  по формуле  $S = V/\omega_2$ , где  $S$  — площадь пылевой камеры, м<sup>2</sup>;  $\omega_2$  — скорость газопылевого потока в пылевой камере, м/с, определяют площадь дна камеры. Степень очистки газов в значительной степени зависит от равномерного распределения пылегазового потока по сечению аппарата.

**Инерционные пылеуловители.** Эффективность обеспыливания в простой пылеосадительной камере может быть увеличена, а габариты ее уменьшены, если эффекту гравитационного осаждения частиц придать дополнительный момент движения вниз. Этот принцип положен в основу многих конструкций пылеуловителей. (рис.24 и 25).

**Рис.24. Зависимость скорости витания частиц от их диаметра.**



В инерционных пылеуловителях при резком изменении направления движения газового потока частицы пыли под воздействием инерционной силы будут стремиться двигаться в прежнем направлении и после поворота потока газов выпадают в бункер. На этом принципе работает ряд аппаратов с конструктивными особенностями (рис.22,г и рис.25). Эффективность этих аппаратов небольшая.

Жалюзийные аппараты имеют жалюзийную решетку, состоящую из рядов пластин или колец. Очищаемый газ, проходя через решетку, делает резкие повороты. Пылевые частицы вследствие инерции стремятся сохранить первоначальное направление, что приводит к отделению крупных частиц из газового потока, тому же способствуют их удары о наклонные плоскости решетки, от которых они отражаются и отскакивают в сторону щелей между лопастями жалюзи (рис.22,а и рис.26).

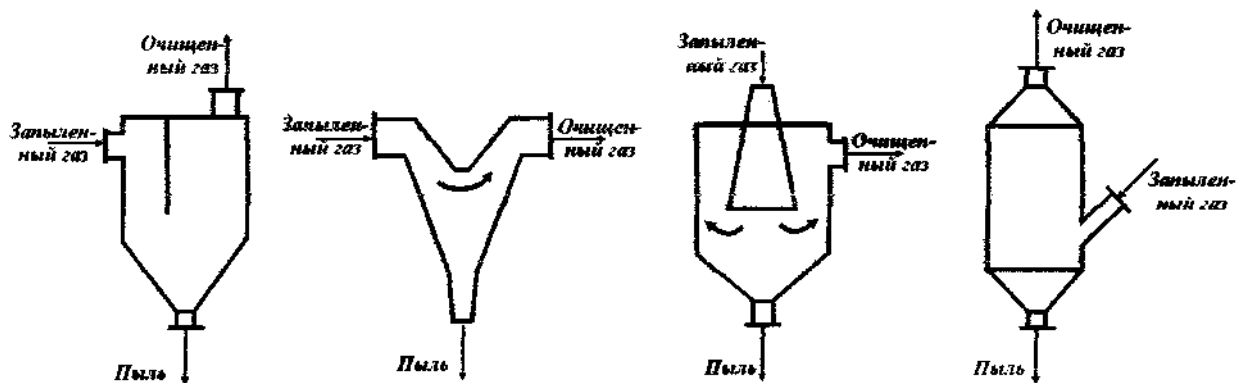


Рис.25. Инерционные пылеуловители («пылевые мешки»).

а – с перегородкой; б – с плавным переворотом газового потока; в – с расширяющимся конусом; г – с боковым подводом газа.

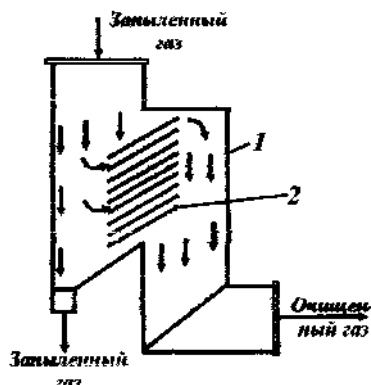


Рис.26. Жалюзийный пылеуловитель.  
1 – корпус; 2 – решетка.

В таблице 38 представлены усредненные характеристики наиболее распространенных пылеуловителей. Из этих общих показателей расчетными являются степень очистки газа в данном аппарате и его гидравлическое сопротивление.

Степень очистки газа (эффективность пылеулавливания, или коэффициент полезного действия пылеуловителя).

$$\eta = Q_{\text{ул}} / Q_{\text{вх}} = (Q_{\text{вх}} - Q_{\text{вых}}) / Q_{\text{вх}} \quad (12.1)$$

где  $Q_{\text{вх}}$ ;  $Q_{\text{вых}}$ ;  $Q_{\text{ул}}$  – соответственно количества входящей, выходной и уловленной пыли в аппарате, кг/с.

Эффективность пылеулавливания определяются и по фактической степени очистки, выражаемой в виде:

$$\eta_{\text{ф}} = Q_{\text{ф.ул}} / Q_{\text{ф.вх}} = (Q_{\text{ф.вх}} - Q_{\text{ф.вых}}) / Q_{\text{ф.вх}} \quad (12.2.)$$

где  $Q_{ф.вх}$ ,  $Q_{ф.вых}$ ,  $Q_{ф.ул}$  – количество пыли данной фракции, соответственно входящей, выходящей и уловленной в аппарате, кг/с.

**Таблица.38.**

**Усреднённые характеристики пылеуловителей.**

Пылеуловители	Максимальное содержание пыли в газе, $Q_{вх}$ , кг/м <sup>3</sup>	Размеры улавливаемых частиц, $\delta$ ч, мкм	Степень Очистки $\eta$ , %	Гидравлическое сопротивление $\Delta p$ , Па	Максимальная температура газа на входе в аппарат $t_{г}$ , °С
Пылеосадительные камеры	-	100	30—40	-	Не лимитируется
Жалюзийные пылеуловители	0,02	25	60	500	400—500
Циклоны	0,40	10	70-95	400—700	400
Батарейные циклоны	0,10	10	85-90	500—800	400
Тканевые фильтры	0,02	1	98—99	500—2500	100* 130** 250 ***
Центробежные скрубберы.	0,05	2	85-95	400—800	Не лимитируется
Пенные аппараты	0,30	0,5	95—99	300—900	То же
Электрофильтры	0,01—0,05	0,005	99 и менее	100—200	425
*Для шерсти и хлопка ** Для лавсана *** Для стеклоткани					

Количество пыли, проходящей через пылеуловитель, соответственно равно:

$$Q_{вх} = V_{г} \cdot X_{вх}, \quad Q_{вых} = V_{г} \cdot X_{вых}, \quad (12.3)$$

Здесь  $V_{г}$  - расход газа, проходящего через пылеуловитель, м<sup>3</sup>/с;

$X_{вх}, X_{вых}$  - начальная и конечная концентрации пыли в газе, кг/м<sup>3</sup>

Общая и фракционная степени очистки связаны между собой зависимостью:

$$\eta = \eta_{\delta 1} \cdot f(\delta_1) + \eta_{\delta 2} \cdot f(\delta_2) + \dots + \eta_{\delta n} \cdot f(\delta_n) \quad (12.4)$$

где  $f(\delta_n)$  - содержание частиц данной фракции (с размерами  $\delta_n$ ) в пыли.

Суммарная степень очистки газов в нескольких последовательно установленных аппаратах:

$$\eta = 1 - (1 - \eta_1) \cdot (1 - \eta_2) \dots (1 - \eta_n) \quad (12.5)$$

где  $\eta_n$  — степень очистки газа в каждом аппарате в долях единицы.

Гидравлическое сопротивление, определяющее энергетические затраты на транспортировку газа через аппарат, рассчитывается по формуле:

$$\Delta p = \xi_{г} \cdot \omega_{г}^2 / 2 \quad (12.6)$$

где  $\xi$  - коэффициент гидравлического сопротивления аппарата;  $\omega_{г}$  - скорость газа в рабочем сечении аппарата, м/с;  $\rho_{г}$  — плотность газа при рабочей температуре на входе в аппарат, кг/м<sup>3</sup>.

### 12.3.1.2. Центробежная очистка газовых выбросов от пыли.



Из инерционных аппаратов центробежного действия наибольшее распространение получили циклоны, в которых частицы пыли выделяются под действием центробежной силы в процессе вращения газового потока в корпусе аппарата. В отечественной практике используются циклоны различного типа с производительностью по газу от 1450 до 6780 м<sup>3</sup>/ч.

Их применяют как в одиночном, так и групповом исполнении; группы циклонов имеют общий коллектор запыленного газа, общий сборник очищенного газа и общий пылевой бункер.

Циклоны широко используются в цементной, угольной, химической, металлургической промышленности для очистки газов от пыли с размером частиц больше 10 мкм или в качестве первой ступени очистки перед пылеуловителями более интенсивного действия.

**Они имеют следующие достоинства:**

- отсутствие движущихся частей в аппарате;
- надежность работы при температурах газов вплоть до 500°С (для работы при более высоких температурах циклоны изготавливают из специальных материалов);
- возможность улавливания абразивных материалов при защите внутренних поверхностей циклонов специальным покрытием;
- улавливание пыли в сухом виде;
- успешная работа при высоких давлениях газов;
- простота изготовления;
- сохранения высокой фракционной эффективности очистки при увеличении запыленности газов.
- почти постоянное гидравлическое сопротивление аппарата.

**Недостатки:**

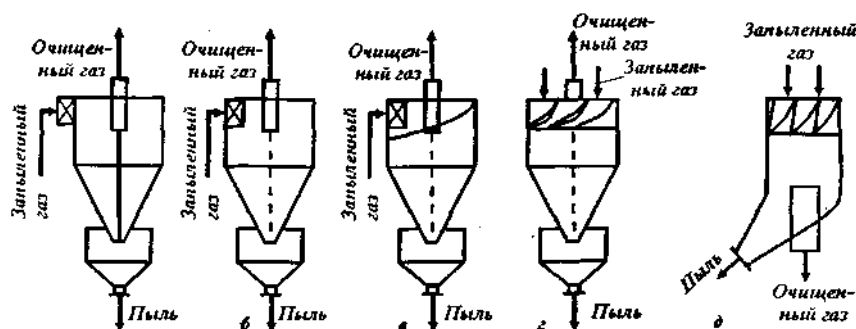
- высокое гидравлическое сопротивление 1250-1500 Па;
- плохое улавливание частиц размером < 5 мкм;
- невозможность использования для очистки газов от липких загрязнений.

По способу подвода газов в аппарат их подразделяют на циклоны со спиральным, тангенциальным, винтообразным, а также осевым подводом. (рис.27). Циклоны с осевым (розеточным) подводом газов работают как с возвратом газов в верхнюю часть аппарата, так и без него. Последний, является прямоточным и отличается низким гидравлическим сопротивлением и меньшей по сравнению с другими циклонами эффективностью. Наиболее предпочтительным по форме с точки зрения аэродинамики является подвод газов по спирали. Однако на практике все способы подвода газа могут использоваться в равной степени.

Принцип работы циклона: газ вращается внутри циклона, двигаясь сверху вниз, а затем движется вверх. (рис.28). Частицы пыли отбрасываются центробежной силой к стенке. Обычно в циклонах центробежное ускорение в несколько сотен, а то и тысячу раз больше ускорения силы тяжести, поэтому даже весьма маленькие частицы пыли не в состоянии следовать за газом, а под влиянием центробежной силы движутся к стенке.

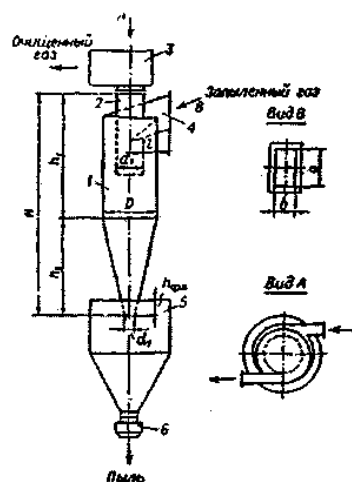
При больших расходах очищаемых газов применяют групповую компоновку аппаратов – групповые циклоны (рис.29). Это позволяет не увеличивать диаметр циклона, что положительно сказывается на эффективности очистки.

Запыленный газ выходит через общий коллектор, а затем распределяется между циклонными элементами. Батарейные циклоны – объединение большого числа малых циклонов (мультициклонов) в группу (рис.30). Снижение диаметра циклонного элемента преследует цель увеличения эффективности очистки.



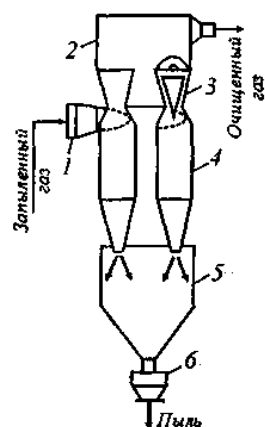
**Рис.27. Основные виды циклонов (по подводу газов):**

а – спиральный; б – тангенциальный;  
в – винтообразный; г, д – осевые (розеточные).



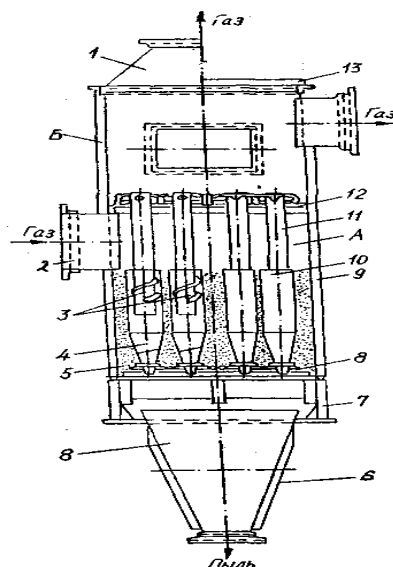
**Рис.28. Циклон:**

1 – корпус; 2 – выхлопная труба; 3 – улитка;  
4 – входной патрубок; 5 – приёмный бункер; 6 – затвор.



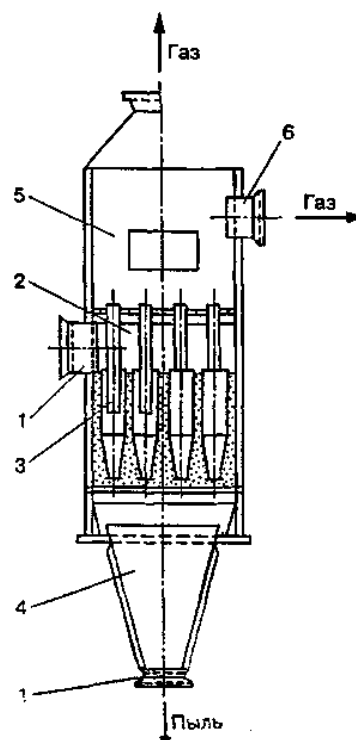
**Рис.29. Групповой циклон:**

1 - входной патрубок; 2 - камера обеспыленных газов; 3 - кольцевой диффузор; 4 - циклонный элемент; 5 - бункер; 6 - пылевой затвор.



**Рис.30. Батарейный циклон:**

1 — патрубок;  
2 — распределительная камера;  
3 — направляющие элементы;  
4 — пылесборник;  
5 — камера; 6 — патрубок.



### Расчёт циклонов.

Тип циклона (РТМ 17-01-78), обеспечивающий заданную степень улавливания, выбирается с помощью рис.31. Здесь по оси абсцисс отложено условное время пребывания газа в циклоне, где  $D$  - диаметр циклона, м;  $\omega_r$  - скорость газа, приведенная к сечению аппарата, м/с. По оси ординат отложена величина условной степени очистки газа  $\eta_{20}$ , численно равная массовой доле частиц с размерами менее 20 мкм в полидисперсном эталонном материале, зерновой состав которого описывается уравнением вида.(табл.8)

Из (рис.31) следует, что одна и та же величина  $\eta_{20}$ , может быть получена в циклонах различных типоразмеров при соответствующих значениях  $\tau_y$ , поэтому окончательно тип циклона выбирается по минимальным приведенным затратам, учитывающим конструктивные, технологические и эксплуатационные показатели циклонной установки. Расчет такой установки проводится в два этапа.

В этом случае, величины  $\eta_{20}$ , откладываемые после дополнительной корректировки, на оси абсцисс рис.32, рассчитываются по уравнению, для которого значения фракционных  $\eta_{\delta n}$  берутся из соответствующего (1, 5 и 10) столбца табл.8.

Содержания фракций  $f(\delta n)$  принимаются для размеров частиц, указанных в таблице.8.

Корректировка любого рассчитанного по уравнению (12.4) значения  $\eta_n$  проводится следующим образом. По формуле:

$$A_1(a) = 2\eta_n - 1$$

рассчитывается величина вспомогательной функции  $A_1(a)$ , и по табл.9 находится соответствующее ей значение  $a_1$ . Из этого значения  $a_1$  алгебраически вычитается поправка:

$$K_n = \lg 10^8 \cdot (\mu_r / \rho_m) \quad (12.8)$$

где  $\mu_r$  – вязкость газа, Па·с;  $\rho_m$  – плотность материала пыли, кг/м<sup>3</sup>.

По полученной разности  $a = a_1 - (K_n)$  из табл.9. находится новое значение  $A(a)$  и по нему рассчитывается окончательно величина:

$$\eta_n = 0,5[1+A(a)] \quad (12.9)$$

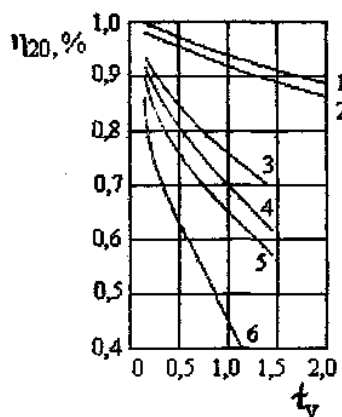


Рис.31. Зависимость  $\eta_{20}$  -  $\tau_y$  для выбора циклона.

Типы циклонов НИИгаз

1 - СК-ЦН-34; 2 - СДК-ЦН-33; 3 - ЦН-11; 4 - ЦН-15; 5 - ЦН-15у; 6 - ЦН-24.

На втором этапе расчета определяются тип циклона, его оптимальный диаметр и количество аппаратов в установке. По рассчитанной на первом этапе величине  $\eta_{20}$  с помощью рис.32.(по пересечению горизонтали  $\eta_{20} = \text{const}$  с кривыми), определяют возможные типы циклонов и соответствующие им значения  $\tau_y$ .

Оптимальный диаметр каждого типа циклона находят, исходя из минимума приведенных затрат:

$$D_{\text{опт}} = 0,49 \cdot \tau_y \cdot (K_{\text{ц}} \cdot K_{\text{э}})^{1/3} \quad (12.10)$$

Здесь конструктивный коэффициент циклона:

$$K_{\text{ц}} = K_{\text{к.з.}} / \xi \quad (12.11)$$

где  $K_{\text{к.з.}}$  - коэффициент капитальных затрат (таблица.39);  $\xi$  - коэффициент сопротивления циклона (табл.40). Эксплуатационный коэффициент циклона:

$$K_{\text{э}} = (E_{\text{н}} + E_{\text{а}} + K_{\text{ц.р}}) / C_{\text{э}} \cdot \rho_{\text{г}} \quad (12.12)$$

где  $E_{\text{н}}$  - нормативный коэффициент окупаемости;  $E_{\text{а}}$  - коэффициент амортизации;  $K_{\text{ц.р.}}$  - коэффициент цеховых расходов;  $\rho_{\text{г}}$  - плотность газа при рабочей температуре,  $\text{кг/м}^3$ .

Четыре последних коэффициента в исходных данных на проектирование обычно не указываются. Их следует брать в соответствующих справочниках в зависимости от территориального расположения предприятия и его отраслевой принадлежности. Для ориентировочных расчетов можно принять  $E_{\text{н}} = 0,17$ ;  $C_{\text{э}} = 0,016$  руб / кВт·ч;  $K_{\text{а}} = 0,1$ ;  $K_{\text{ц.р.}} = 0,07$ .

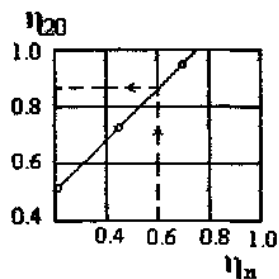


Рис.32. Линия приведения.

Если рассчитанный по (12.10) диаметр циклона окажется больше максимального, предусмотренного нормалью, следует уменьшить ранее принятое  $\tau_y$ , увеличив число циклонов в установке.

При определении диаметра циклона следует также соблюдать условие:

$$D \geq K \cdot x_{\text{н}}$$

где  $K = 2$  - для слабослипающихся пылей;  $K = 4$  - для среднеслипающихся пылей;  $K = 8$  - для сильнослипающихся пылей;  $x_{\text{н}}$  - начальная запыленность газа,  $\text{кг/м}^3$ .

Таблица.39.

## Значения коэффициентов капитальных затрат.

Число циклонов	ЦН-24			ЦН-15			ЦН-11		
	K' кз	K'' кз	K''' кз	K' кз	K'' кз	K''' кз	K' кз	K'' кз	K''' кз
1	802	989	1063	794	979	1052	774	949	1018
2	740	961	1047	734	952	1038	701	910	992
4	720	966	1062	718	960	1054	687	916	1008
6	781	1055	1172	764	1039	1147	739	1002	1111
8	920	1248	1373	908	1226	1348	870	1179	1300
Кср	793	1044	1143	784	1031	1128	754	991	1086
Число циклонов	ЦН-15у			СДК-ЦН-33			СК-ЦН-34		
	K' кз	K'' кз	K''' кз	K' кз	K'' кз	K''' кз	K' кз	K'' кз	K''' кз
1	698	852	912	665	803	858	570	690	752
2	639	827	902	600	771	839	520	670	728
4	630	840	922	573	774	849	500	680	740
6	686	919	1025	635	860	950	587	792	873
8	824	1112	1217	763	1033	1142	716	966	1064
Кср	695	910	996	647	848	928	579	760	831

Примечание. K' кз — циклоны без изоляции; K'' кз - циклоны с теплоизоляцией толщиной 50 мм; K''' - циклоны с теплоизоляцией толщиной 100 мм; Кср — среднее значение коэффициента капитальных затрат.

Скорость газа в циклоне:

$$\omega_{\Gamma} = D / \tau_{\gamma} \quad (12.14)$$

где D - диаметр циклона, принятый по нормальям, близкий к оптимальному диаметру  $D_{\text{опт}}$ , м. Количество циклонов в одной установке:

$$z = 4 \cdot V_{\text{u}} / \pi \cdot D^2 \cdot \omega_{\Gamma} \quad (12.15)$$

Окончательный выбор типа циклона определяется величиной минимальных приведенных затрат, рассчитанных по формуле:

$$ПЗ = \left[ \frac{5,25 \rho_{\gamma} \xi_{\text{Ц}} D^2}{\tau_{\gamma}^2} + \frac{1,27(E_{\text{u}} + K_{\text{a}} + K_{\text{уф}})}{D} \right] V_{\text{z}} \quad (12.16)$$

**Таблица.40.**

**Основные параметры циклонов в долях диаметра аппарата (НИИОГАЗ)**

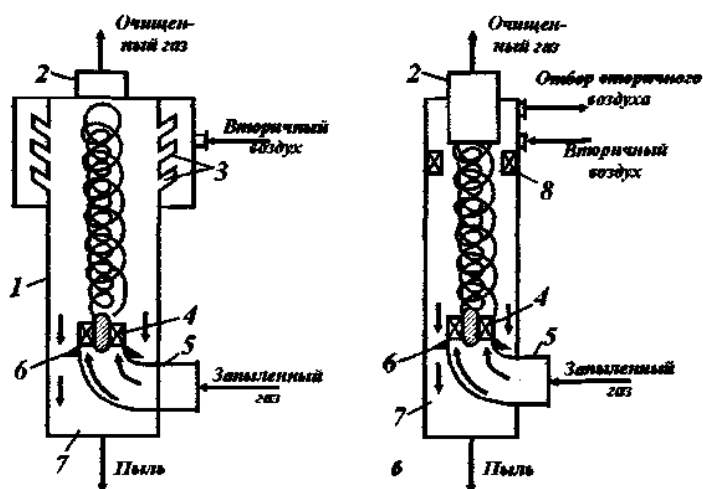
Параметр (см. Рис.28)	Тип циклона					
	ЦН-11	ЦН-15	ЦН-15	ЦН-24	сдк-ЦН-33	ск-ЦН-34
Диаметр выхлопной трубы $d_T$	0,60	0,60	0,60	0,60	0,334	0,340
Диаметр пылевыпускного отверстия $d_1$	0,3-0,4	0,3-0,4	0,3-0,4	0,3-0,4	0,334	0,229
Ширина входного патрубка $b$	0,20	0,20	0,20	0,20	0,264	0,214
Высота входного патрубка $a$	0,48	0,66	0,20	0,20	0,264	0,214
Высота цилиндрической части $h_1$	2,08	2,26	0,66	1,11	0,535	0,2-0,3
Высота конической части $h_2$	2,00	2,00	1,51	2,11	0,535	0,515
Общая высота циклона $H$	4,38	4,56 -	1,50	1,75	3,000	2,110
Высота установки фланца $h_{фл}$	0,24-	0,32	3,31	4,26	3,800	3,140
Коэффициент сопротивления $\xi$	245	155	0,24 - 0,32		0 - 1	
			165	75	550	1050

Примечание: 1. Диаметры циклонов в пределах 10-100 мм изменяются через 20 мм, в дальнейшем – через 50 мм. 2. Большой диаметр  $d_1$  принимается при больших запыленностях газа.

### 12.3.1.3. Вихревые пылеуловители.

Основным отличием вихревых пылеуловителей от циклонов является наличие вспомогательного закручивающего газового потока (рис.33).

В динамических пылеуловителях очистка газов от пыли осуществляется за счет центробежных сил и сил Кориолиса, возникающих при вращении рабочего колеса тягодутьевого устройства. Динамический пылеуловитель потребляет больше энергии, чем обычный вентилятор с идентичными параметрами по производительности и напору.



**Рис.33. Вихревые пылеуловители: а - соплового типа; б - лопаточного типа;**

1 - камера; 2 - выходной патрубок; 3 - сопла; 4 - лопаточный завихритель типа "розетка"; 5 - входной патрубок; 6 - подпорная шайба; 7 - пылевой бункер; 8 - кольцевой лопаточный завихритель. В табл.41.приведены характерные параметры некоторых сухих механических пылеуловителей.

**Таблица 41.**

**Характерные параметры сухих механических пылеуловителей.**

Тип пылеуловителя	Максимальная производительность, м <sup>3</sup> /ч	Эффективность пылеулавливания частиц, %	Гидравлическое сопротивление, Па	Верхний предел температуры газов, °С
Осадительная камера	V <sub>г</sub>	80-90 (50 мкм)	50-130	350-550
Циклон	85000	50-80 (10 мкм)	250-1500	350-550
Вихревой пылеуловитель	30000	90 (2 мкм)	до 2000	до 250
Батарейный циклон	170000	90 (5 мкм)	750-1500	350-550
Инерционный пылеуловитель	127000	90 (2 мкм)	750-1500	до 400
Динамический пылеуловитель	42500	90 (2 мкм)	750-1500	до 400

V<sub>г</sub> определяется возможной площадью для размещения.

**12.3.1.4. Мокрая очистка газовых выбросов.**

**Классификация аппаратов мокрой очистки газов.**

В мокрых аппаратах очистка газов осуществляется при контакте газопылевого потока с жидкостью, в результате чего частицы пыли смачиваются, утяжеляются и выводятся из газопылевого потока под действием гравитационных и центробежных сил или захватываются жидкостью и удаляются из аппарата в виде шлама.

Основными преимуществами мокрых пылеуловителей являются: сравнительно небольшая стоимость (без учета шламового хозяйства) и более высокая эффективность улавливания частиц, по сравнению с сухими, механическими пылеуловителями; возможность применения для очистки газов от частиц размером до 0,1 мкм, а также использования в качестве абсорберов, для охлаждения и увлажнения (кондиционирования) газов, в качестве теплообменников смешения.

К недостаткам пылеуловителей относятся: возможность забивания газоходов и оборудования пылью (при охлаждении газов) и потери жидкости вследствие брызгоуноса; необходимость антикоррозионной защиты оборудования при фильтрации агрессивных газов и смесей.

В мокрых пылеуловителях в качестве орошающей жидкости чаще всего применяется вода; при совместном решении вопросов пылеулавливания и химической очистки газов выбор орошающей жидкости (абсорбента) обуславливается процессом абсорбции. Мокрые пылеуловители подразделяют на группы в зависимости от поверхности контакта или по способу действия: полые газопромыватели (оросительные устройства; промывные камеры; полые форсуночные скрубберы); насадочные скрубберы;



тарельчатые газопромыватели (барботажные и пенные аппараты); газопромыватели с подвижной насадкой; мокрые аппараты ударноинерционного действия (ротоклоны); мокрые аппараты центробежного действия; механические газопромыватели (механические скрубберы, динамические скрубберы); скоростные газопромыватели (скрубберы Вентури, эжекторные скрубберы).

Надежная и эффективная работа мокрых пылеуловителей (полых форсуночных скрубберов, скрубберов Вентури, эжекционных аппаратов и др.), принцип действия которых основан на взаимодействии улавливаемых частиц с каплями орошающей жидкости, в немалой степени зависит от правильного выбора распыливающих устройств (форсунок).

В газоочистных аппаратах для подачи жидкости в основном используются форсунки, которые подразделяют, на три основные группы: механического, пневматического и электрического действия. Механические форсунки, наиболее распространенные в газоочистных аппаратах, бывают прямого действия, центробежные и ультразвуковые.

В насадочных скрубберах и тарельчатых аппаратах раздача орошающей жидкости осуществляется с помощью оросителей. В отличие от форсунок назначение оросителей заключается не в создании тонкого распыла жидкости, а лишь в равномерном распределении ее по сечению аппарата.

### Газопромыватели

В полых газопромывателях газопылевой поток пропускают через завесу распыляемой жидкости. При этом частицы пыли захватываются каплями промываемой жидкости и осаждаются в промывателе, а очищенные газы удаляются из аппарата. Наиболее распространенным аппаратом этого класса является полый форсуночный скруббер (рис.34).

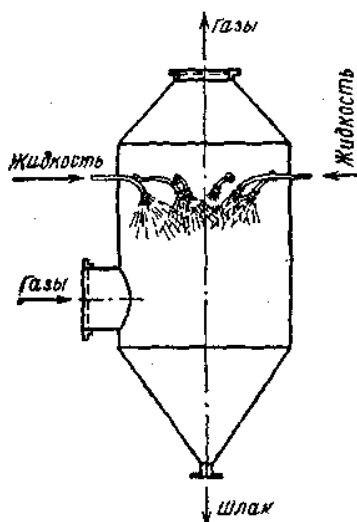


Рис.34. Полный форсуночный скруббер

1 – опорная решетка; 2 – насадка; 3 – оросительное устройство

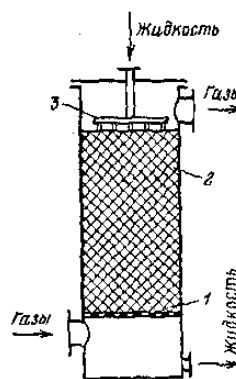


Рис.35. Противоточный насадочный скруббер.

Он широко используется как для очистки газов от крупных частиц пыли, так и для охлаждения газов, выполняя в различных системах пылеулавливания роль аппарата, обеспечивающего подготовку (кондиционирование) газов.

Аппарат представляет собой колонну круглого или прямоугольного сечения, в которой осуществляется контакт между очищаемыми газами и каплями жидкости, распиливаемой форсунками. По направлению движения газов и жидкости полые скрубберы делят на противоточные, прямоточные и с поперечным подводом жидкости.

В полых газопромывателях обычно устанавливают центробежные форсунки грубого распыла, работающие под давлением от 0,3 до 0,4 МПа и создающие капли требуемого размера. Применение таких форсунок позволяет работать на оборотной воде, содержащей взвеси.

При применении высокоскоростных скрубберов с линейной скоростью газов 5 - 8 м/с рекомендуется установка каплеуловителя.

Степень очистки в полном форсуночном скруббере достигает 99 % при улавливании частиц размером  $>10$  мкм и резко снижается при размере  $<5$  мкм. Скорость газа принимается до 1 м/с.

Насадочные газопромыватели представляют собой колонны, заполненные телами различной формы (рис.35). Эти аппараты применяются только при улавливании хорошо смачиваемой пыли, особенно в тех случаях, когда процессы улавливания пыли сопровождаются охлаждением газов или абсорбцией. При улавливании плохо смачиваемой пыли (но не склонной к образованию твердых отложений) могут использоваться аппараты с регулярной и разреженной насадкой.

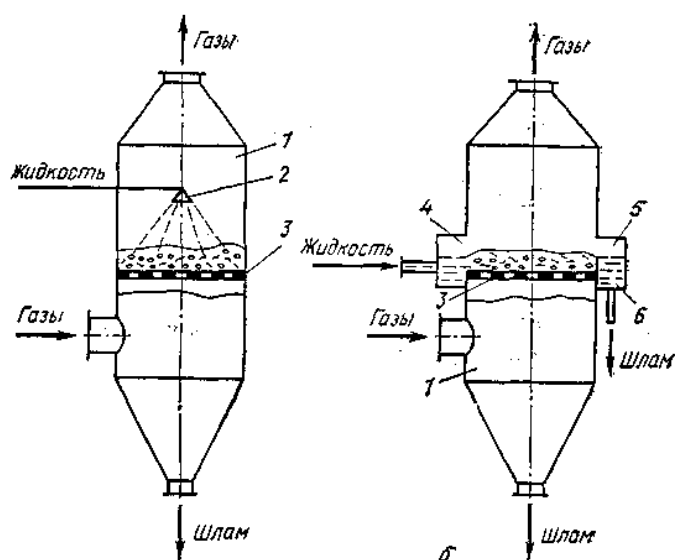
Расход орошаемой жидкости в противоточных насадочных скрубберах принимают в пределах 1,3 - 2,6 л/м<sup>3</sup>.

**Тарельчатые газопромыватели.** В основе этих аппаратов лежит взаимодействие тазов с жидкостью на тарелках различной конструкции. Характер взаимодействия в значительной степени определяется скоростью газового потока. При малых скоростях (до 1 м/с) газы проникают через слой жидкости в виде пузырей - происходит барботаж.

С ростом скорости газов взаимодействие газового и жидкостного потоков протекает более интенсивно и сопровождается образованием высокотурбулизованной пены, в которой происходит непрерывное разрушение, слияние и образование новых пузырьков. Поэтому газопромыватели данного типа часто называют пенными аппаратами. Разработан ряд конструкций тарельчатых (пенных) газопромывателей: аппарат с провальными тарелками (рис.36, а), аппарат с переливными тарелками (рис.36, б).

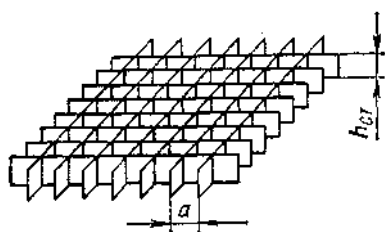
**Пенный аппарат** со стабилизатором пенного слоя (ПАСС) отличается от пенного аппарата с провальной тарелкой установкой непосредственно на тарелке стабилизатора представляющего собой сотовую решетку из вертикально расположенных пластин, разделяющих сечение аппарата и пенный слой на небольшие ячейки (рис.37).

Стабилизатор пены предотвращает возникновение волнового режима на тарелке вплоть до скорости газов 4 м/с, т. е. существенно расширяет скоростной интервал пенного режима. Наличие стабилизатора обуславливает значительное накопление жидкости на тарелке и, следовательно, увеличение высоты пены по сравнению с уровнем при провальной тарелке без стабилизатора.



**Рис.36. Пенные пылеуловители:**

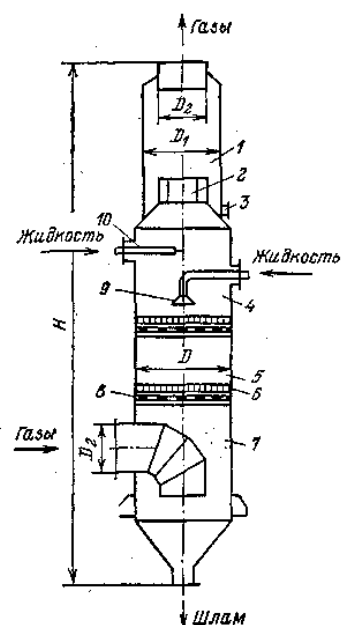
1 - корпус; 2 – оросительное устройство; 3 - тарелка; 4- приемная коробка; 5 - порог; 6 - сливная коробка.

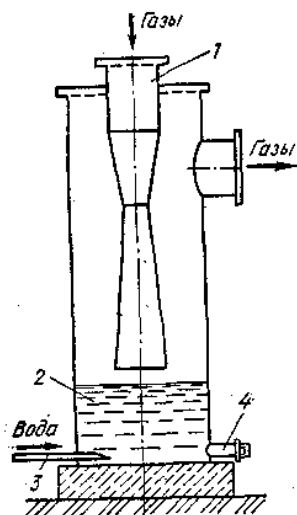


**Рис.37. Стабилизатор.**

**Рис.38. Пенный аппарат ПАСС:**

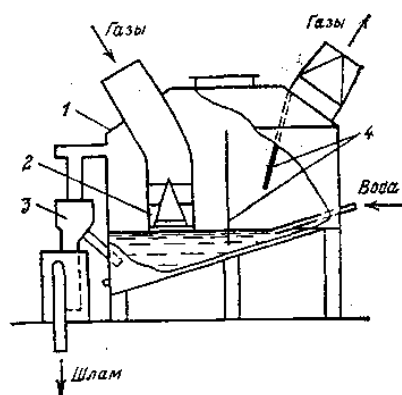
1 - брызгоуловитель; 2 - центробежный завихритель; 3 - патрубок для отвода жидкости из брызгоуловителя; 4, 5, 7 - верхняя, средняя и нижняя секции соответственно; 6 - стабилизатор; 8 - тарелка; 9 - ороситель; 10 - форсунка для периодического орошения завихрителя.





**Рис. 39. Мокрый пылеуловитель ударноинерционного действия:**

1 - входной патрубок; 2 - резервуар с жидкостью;  
3 - смывное сопло; 4 - патрубок для удаления шлама.



**Рис.40. Скруббер Дойля:**

1 - корпус; 2 - сопло-ускоритель;  
3 - сливное устройство; 4 - брызгоотбойник.

Применение стабилизатора позволяет существенно сократить расход воды на орошение аппарата.

Рекомендуются следующие размеры стабилизатора: высота пластин 60 мм; размер ячеек — от 35х35 до 40х40 мм.

Аппарат работает при скорости газа 2,5-г-3,5 м/с.

Типоразмерный ряд ПАСС (рис.38) производительностью по газу от 3000 до 90000 м<sup>3</sup>/ч, включающий 12 типоразмеров. Газопромыватели ударного действия. Наиболее простой, по конструкции пылеуловитель ударноинерционного действия представляет собой вертикальную колонну, в нижней части которой находится слой жидкости (рис.39).

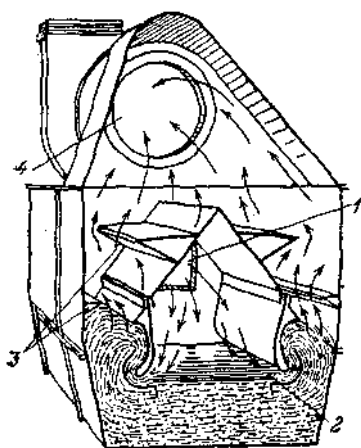
Запыленные газы по газоходу (обычно круглого сечения или выполненного в виде трубы Вентури) с большой скоростью направляются на поверхность жидкости. При резком повороте газового потока на 180° происходит инерционное осаждение частиц пыли на каплях жидкости. Шлам из аппарата может удаляться через гидрозатвор периодически или непрерывно. Для удаления уплотненного осадка со дна применяют смывные сопла.

При периодическом отводе шлама постоянная подпитка воды производится только для компенсации ее потерь за счет испарения. Поэтому аппараты ударно-инерционного действия рекомендуется устанавливать для очистки холодных или предварительно охлажденных газов.

**Скруббер Дойля.** В аппарате (рис.40) газовый поток поступает через трубы, в нижней части которых установлены конусы, увеличивающие скорость газов в свободном сечении трубы. Скорость газов непосредственно в щели на выходе из трубы составляет 35—55 м/с, и газовый поток с достаточно высокой скоростью ударяется о поверхность жидкости, создавая завесу из капель. Уровень жидкости в скруббере (в статическом состоянии) на 2—3 мм ниже кромки трубы. Гидравлическое сопротивление газопромывателя в зависимости от скорости истечения составляет 500—4000 Па.

**Ротоклон** является другим типичным представителем газопромывателей ударно-инерционного действия (рис.41). В аппарате установлены один или несколько изогнутых щелевых каналов, нижняя часть которых затоплена жидкостью. Газовый поток, ударяясь о поверхность жидкости, захватывает часть жидкости и заставляет ее двигаться вдоль нижней направляющей канала. Затем жидкость отбрасывается к верхней направляющей и при выходе из щели падает в виде сплошной водяной завесы. Для предотвращения уноса капель газы после канала проходят через систему каплеотбойных устройств. Скорость газов в канале обычно не превышает 15 м/с.

Разработано несколько конструкций ротоклонов:

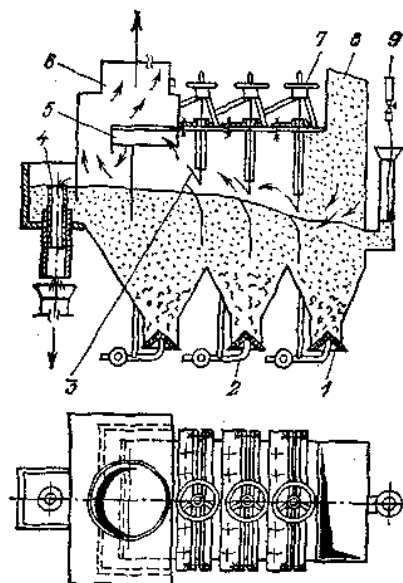


**Рис.41. Ротоклон.**

- 1 - устройство для подвода газопылевого потока;
- 2 - направляющие лопатки; 3 - каплеотбойник;
- 4 - устройство для вывода газов.

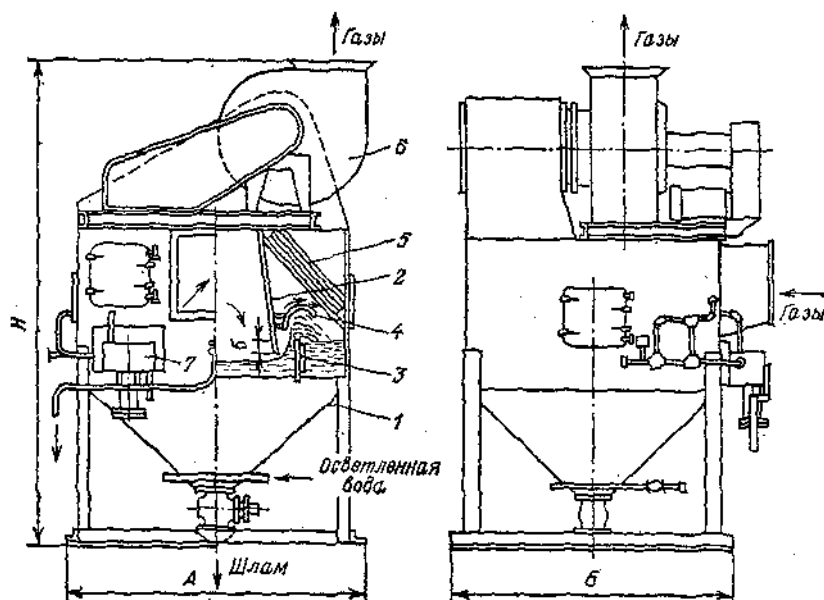
**Рис.42. Ротоклон.**

- 1 - конусный затвор для удаления шлама;
- 2 - нижняя неподвижная перегородка;
- 3 - верхняя подвижная перегородка;
- 4 - подвижный регулятор уровня жидкости;
- 5 - боковое газовое окно лабиринтного каплеуловителя;
- 6 - выход очищенного газа;
- 7 - винтовой подъемник;
- 8 - выход загрязненного газа;
- 9 - подача воды.



Производительность ротоклона конструкции Гипротязмаша 10-40 тыс. м<sup>3</sup>/ч. Температура подаваемых на очистку газов до 280 °С. Максимальная потеря давления в ротоклоне, соответствующая максимальной скорости воздуха 25 м/с, 1900 Па, расход воды до 0,5 м<sup>3</sup>/ч, максимальный объем заливаемой воды 6,5 м<sup>3</sup>. Слипшийся на дне шлам удаляют скребковым транспортером в короб или непосредственно в шламоотвод.

Ротоклон применяется при очистке газов, отсасываемых от мельниц, дробилок, сушилок, котлоагрегатов, травильных и цинковальных ванн и др. Расход газа 10 - 15 тыс. м<sup>3</sup>/ч при потере давления 1,6 кПа, если частицы пыли имеют размер 5 мкм, 35 тыс. м<sup>3</sup>/ч - при потере давления 3 - 15 кПа, если производят тонкую очистку мелкодисперсной пыли. Расход воды изменяется в пределах 0,001 - 30 л/м<sup>3</sup>. Эффективность очистки газа достигает 99 %. Температура газов допускается 400 °С.



**Рис.43. Газопромыватель ПВМ:**

1 - корпус; 2, 3 - перегородки; 4 - водоотбойник; 5 - каплеуловитель; 6 - вентилятор; 7 - регулятор уровня жидкости.

**Аппарат ЦВМ** (пылеуловитель вентиляторный, мокрый) имеет две модификации: с удалением шлама посредством слива (СА) и с уборкой его скребковыми агрегатами (КА). Кроме того, ПВМ изготавливают в двух исполнениях: с удалением шлама с поверхности воды (П) и с повышенной безопасностью (Б).

Аппарат работает по следующей схеме (рис.43). Запыленные газы поступают через отверстие в боковой стенке. При включении вентилятора уровень воды в среднем отсеке пылеуловителя между двумя симметричными перегородками 2 устанавливается ниже, чем за перегородками 3. В результате между поверхностью воды и каждой перегородкой 2 образуется щель, через которую газовый поток устремляется с большой скоростью в

виде плоской струи, частично увлекая за собой воду. Встречая на своем пути перегородку 3, струя отклоняется вверх, причем на поверхность перегородки, смоченную увлеченной водой, осаждаются сепарирующиеся из струи частицы пыли. Вода, увлеченная газовым потоком, перетекает вверх по перегородке 3, отклоняется водоотбойником и сливается в крайний отсек. Газы проходят через каплеуловитель и выбрасываются наружу вентилятором.

Для предупреждения закупорки сливного отверстия шламом в нижнюю часть корпуса по соплам, расположенным внутри бункера, через коллектор подается водопроводная или осветленная вода. Аппарат оборудован также устройством для автоматической водоподпитки и поддержания уровня воды в ванне.

Расход воды ПВМС 20 г на 1 т уловленной пыли, а ПВМК 5 – 10 г/т.

**Скрубберные газопромыватели центробежного действия**, по своей конструкции делятся на два типа: в первом вращательное движение пылегазовому потоку придается за счет тангенциального подвода потока, а во втором закручивателем служит центральное лопастное устройство (рис.44).

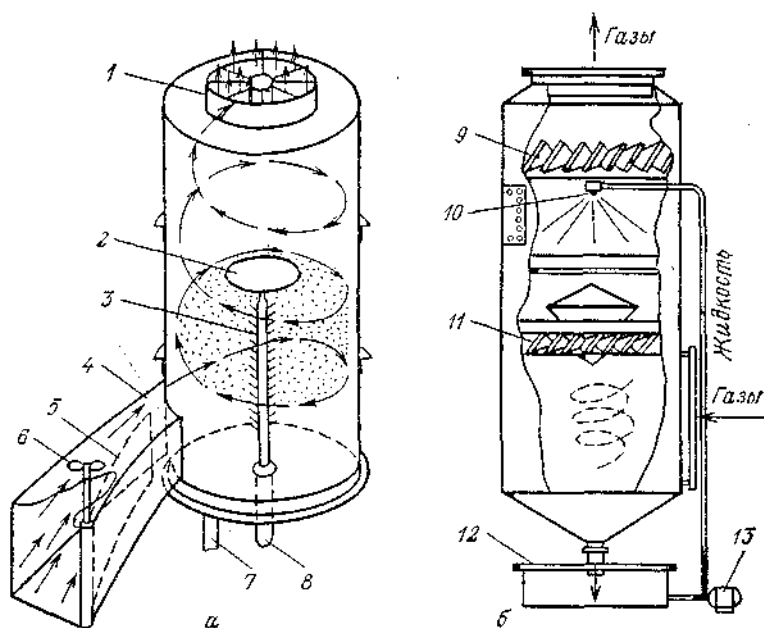
В Украине наибольшее распространение получили центробежные скрубберы с тангенциальным подводом газопылевого потока и пленочным орошением, создаваемым форсунками.

Циклон с водяной пленкой (ЦВП) является типичным представителем этого типа пылеуловителей и предназначен для очистки запыленного вентиляционного воздуха от любых видов нецементирующейся пыли. По внутренней поверхности стенки циклона непрерывно стекает пленка воды, которая тангенциально вводится в аппарат через ряд трубок, расположенных в его верхней части.

**Скрубберы Вентури** являются эффективными аппаратами мокрого пылеулавливания. Общей конструктивной особенностью этих аппаратов является наличие трубы-распылителя, в которой происходит процесс дробления движущимся со скоростью до 150 м/с пылегазовым потоком орошающей жидкости, и установленного за ней каплеуловителя.

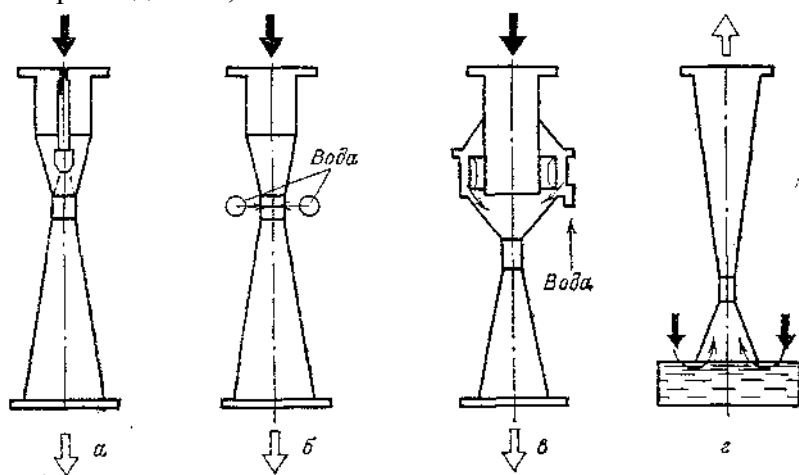
Разработан большой ряд конструкций скрубберов Вентури (рис.45).

Скруббера Вентури с центральным (форсуночным) орошением (рис.45,а).



**Рис.44. Центробежные скрубберы с центральным подводом орошения (а) и внутренними завихрителями (б):**

1 — лопатка выравнивания потока; 2 — центральный диск; 3 — система орошения; 4 — устройство для ввода газов; 5 — вращающаяся заслонка на входе; 6 — шток; 7 — выходное отверстие для шлама; 8 — входное отверстие для орошающей жидкости; 9 — раскручиватель для выравнивания потока; 10 — ороситель; 11 — завихритель; 12 — сосуд для сбора жидкости; 13 — насос



**Рис.45. Конструкции труб-распылителей:**

а — центральный (форсуночный) подвод орошения; б — периферийное орошение; в — пленочное орошение; г — бесфорсуночное орошение

В скрубберах подобного типа подача орошающей жидкости осуществляется форсунками, установленными перед конфузуром или непосредственно в нем. Давление перед форсунками обычно составляет от 0,2 до 0,3 МПа. В основном применяются центробежные (механические эвольвентные, цельнофакельные и др.) форсунки.

**Скрубберы Вентури с периферийным орошением (рис.45,б).**

Периферийная подача орошающей жидкости используется при орошении через конфузур или горловину.



**Скрубберы Вентури с пленочным орошением** (рис.45, в). Для предотвращения образования отложений на стенках конфузора и диффузора при орошении трубы сильно загрязненной оборотной жидкостью предложена пленочная подача жидкости. Такая подача может применяться как совместно с подачей через форсунки или периферийной, так и самостоятельно, главным образом в щелевых трубах-распылителях.

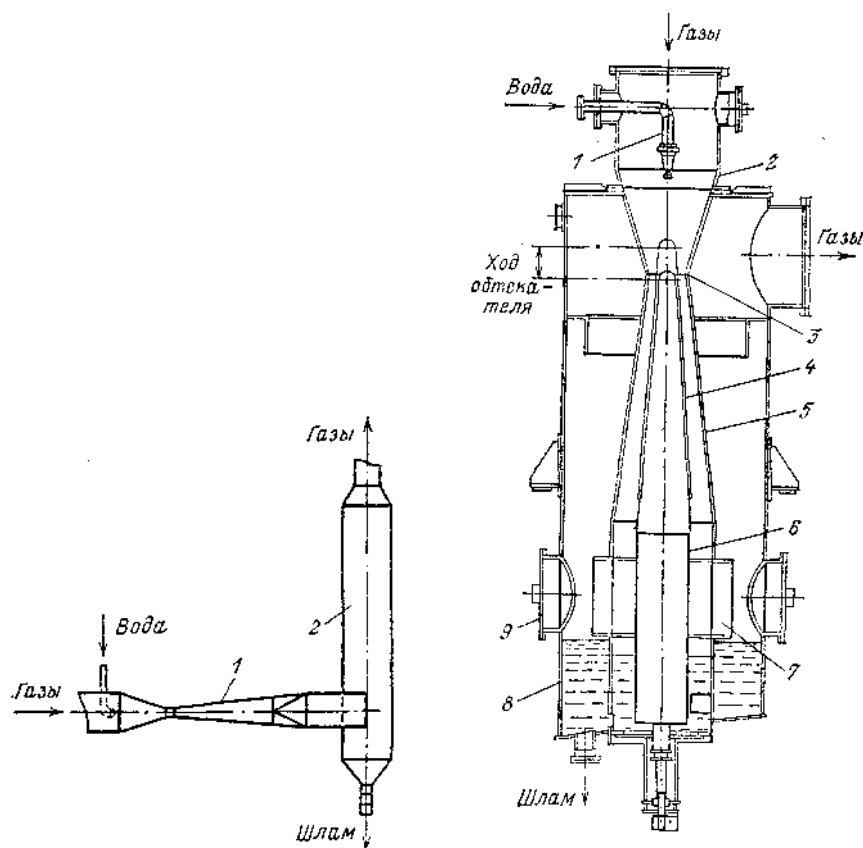
Для обеспечения лучшего контакта с жидкостью по периметру горловины трубы с пленочным орошением рекомендуется предусматривать уступ. Для труб-распылителей с пленочным орошением большое значение имеет диаметр или ширина горловины. Размер максимально возможного диаметра или ширины горловины зависит от скорости газов, однако не рекомендуется принимать его больше 100 мм.

**Скрубберы Вентури с подводом жидкости за счет энергии газового потока** (рис.45, г) еще называют бесфорсуночными скрубберами Вентури. Они применяются в качестве абсорберов, но могут использоваться и для пылеулавливания, особенно при орошении оборотной жидкостью с большим количеством взвеси.

Газы, подаваемые на очистку, контактируют с поверхностью жидкости, находящейся в приемной чаше или другой емкости, захватывают и увлекают жидкость за собой в виде брызг и капель в трубу-распылитель.

Гидравлическое сопротивление аппарата увеличивается с возрастанием удельного орошения, которое может быть обеспечено за счет повышения как скорости газа (при постоянном уровне жидкости), так и уровня жидкости (при постоянной скорости газа). Так, при скорости газов в горловине трубы-распылителя 50—60 м/с увеличение удельного орошения с 0,8 до 3,3 л/м<sup>3</sup> приводит к росту гидравлического сопротивления аппарата с 700 до 3000 Па. Гидравлическое сопротивление бесфорсуночной трубы-распылителя ниже, чем трубы-распылителя с форсуночным или периферийным орошением при одних и тех же значениях удельного расхода орошающей жидкости и скорости газов в горловине.

В зависимости от поставленной задачи основные элементы аппарата (труба-распылитель, и каплеуловитель) komponуются отдельно или в едином корпусе (рис.47).



**Рис.46: Скруббер Вентури с выносным каплеуловителем:**

1 — труба-распылитель; 2 — циклон-каплеуловитель

**Рис.47. Скруббер Вентури с регулируемым сечением горловины:**

1 — форсунка; 2 — конфузор; 3 — горловина; 4 — регулирующий конус; 5 — диффузор; 6 — направляющий шток; 7 — центробежный завихритель; 8 — корпус каплеуловителя; 9 — люк

Высоконапорные трубы Вентури предназначены для обеспыливания газов с температурой до  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$  и концентрацией пыли до  $30\text{ г/м}^3$ ; допустимое содержание взвеси в оборотной воде  $0,5\text{ г/л}$ .

Унифицированный ряд скрубберов Вентури с кольцевым сечением горловины имеет такие же технические требования по концентрации пыли и содержанию взвеси в орошающей жидкости, как высоконапорные аппараты.

Разработаны две модификации скрубберов Вентури. Первая модификация рассчитана на производительность по газам от 2000 до  $50000\text{ м}^3/\text{ч}$  и включает четыре типоразмера. В аппаратах этой модификации предусмотрена регулировка сечения горловины с помощью конического обтекателя с углом раскрытия  $7^{\circ}$ . Труба-распылитель устанавливается внутри центробежного каплеуловителя (на диффузоре трубы закреплена центробежная розетка). В трубах-распылителях с коническим обтекателем максимальное сечение горловины при нижнем положении обтекателя, когда горизонтальная ось головки его совпадает с нижней кромкой горловины трубы. Подача орошающей жидкости производится в конфузор трубы Вентури через форсунку с рассекающим конусом, установленную на уровне

верхней кромки конфузора по оси трубы-распылителя. Требуемый уровень гидравлического сопротивления обеспечивается за счет изменения значений удельного орошения от 0,5 до 3,5 л/м<sup>3</sup> и скоростей газов в горловине трубы.

Вторая модификация скрубберов Вентури рассчитана на производительность по газам от 50000 до 500000 м<sup>3</sup>/ч. Для регулирования сечения горловины установлен эллиптический (плоский) обтекатель. Скруббер Вентури komponуется из трубы-распылителя с регулируемым сечением горловины и отдельно стоящих (двух или одного) каплеуловителей.

### **Каплеуловители**

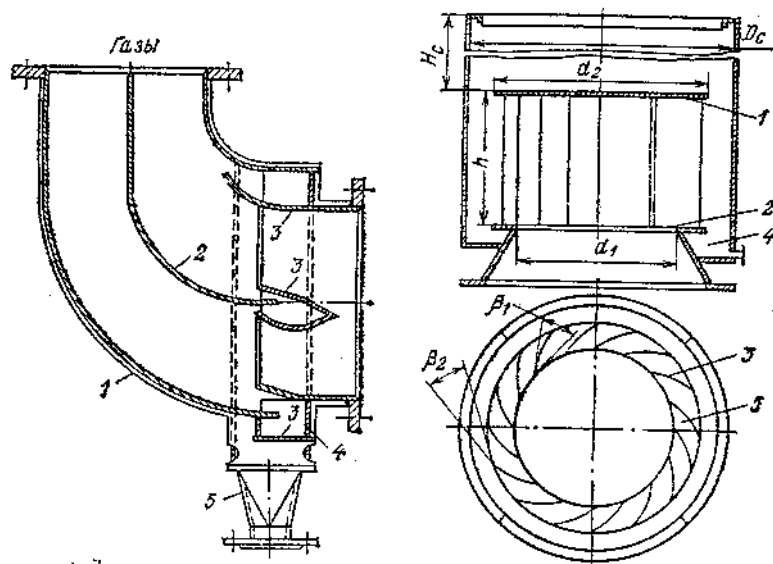
Каплеуловители устанавливаются после скрубберов Вентури. Конструкция каплеуловителя определяется, в основном, размером улавливаемых капель. Чем выше скорость газа в горловине, тем интенсивнее осуществляется процесс дробления и тем меньше размер выносимых из трубы Вентури капель. Так, при скорости газов в горловине трубы 120 м/с, образуются капли со средним размером 50 мкм.

В качестве каплеуловителя в скруббере Вентури могут применяться сепараторы различных конструкций, однако наибольшее распространение получили циклоны, коленные сепараторы, разделительные емкости, сепараторы с закручивающими элементами.

При больших удельных расходах орошающей жидкости, а также при очистке в скрубберах Вентури переменных объемов газов применяют двухступенчатую сепарацию влаги: грубую и тонкую. В качестве первой ступени для улавливания основного количества жидкости обычно используют разделительные емкости и коленные сепараторы (рис.48).

В качестве каплеуловителя за трубами Вентури применяют также встроенные центробежные сепараторы, выполненные в виде лопастного завихрителя. Они могут работать при скоростях газового потока до 15 м/с, обеспечивая улавливание капель крупнее 10 мкм на 99 %.

Сепаратор, выполненный в виде цилиндрической или конической центробежной ловушки (рис.49 и 50), устанавливается в качестве каплеуловителя за трубой Вентури с регулируемым сечением горловины и за бездиффузорной трубой Вентури.



**Рис.48. Коленный сепаратор:**

1 — корпус; 2 — лопатка; 3 — сливные карманы; 4 — труба для сбора уловленной жидкости; 5 — устройство для вывода жидкости.

**Рис.49. Центробежный каплеуловитель с цилиндрическим завихрителем:**

1 — диск; 2 — кольцо; 3 — лопатки; 4 — карман; 5 — канал

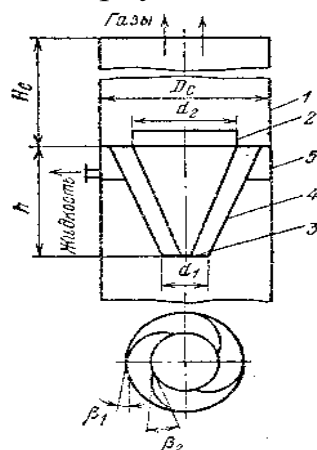
Для расчета и выбора конических (числитель) и цилиндрических (знаменатель) завихрителей рекомендуется использовать соотношения:

$h/d_1$ .....	6,0/0,7	$H_c/D_c$ . . .	2,0/1,5
$d_2/D_c$ .....	0,85/0,6	$\beta_1$ , град . . .	34/50
$d_1/D_c$ .....	0,2/0,5	$\beta_2$ , град . . .	10/0
$d_2/d_1$ .....	4,25/1,25	Число лопаток,	
		шт. . .	18/18

Отвод жидкости, уловленной центробежной ловушкой, осуществляется через сливные патрубки, расположенные в нижней части сепаратора тангенциально и навстречу вращающемуся потоку жидкости. При скорости истечения жидкости в сливных патрубках 0,2 м/с, обеспечивается полный отвод уловленной в сепараторе жидкости.

**Рис.50. Центробежный каплеуловитель с коническим завихрителем:**

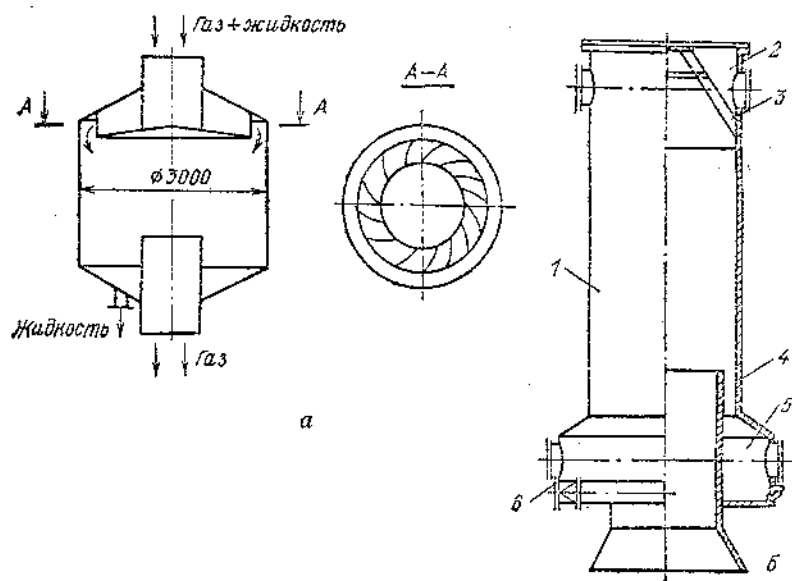
1 — корпус; 2 — кольцо; 3 — диск; 4 — лопатки; 5 — карман.



**Рис.51. Центробежный каплеуловитель НИИОГАЗа:**

а — схема аппарата; б — конструкции аппарата;

1 — корпус; 2 — входной патрубок; 3 — завихритель; 4 — выходной патрубок; 5 — кольцевой сборник жидкости; 6 — патрубок для отвода жидкости.



Прямоточные центробежные каплеуловители и конические завихрители часто забиваются в области межлопастных каналов.

Этот недостаток исключается при использовании прямоточных каплеуловителей НИИОГАЗа (рис.51).

**Эксплуатация мокрых газоочистных аппаратов**

При эксплуатации мокрых аппаратов основное внимание следует уделять системе шламоудаления. При обратном цикле необходимо обеспечивать циклическую подачу дополнительной воды в систему водооборота. Не допускать сброса загрязненной воды в водоемы. Остановки, поломки и плохая работа газоочистного аппарата, в конечном счете, вызывают значительное увеличение загрязнения атмосферы, а поэтому должны рассматриваться как аварийное состояние технологической установки.

Брызгоунос из аппаратов при отклонениях от расчетного режима работы или вследствие неисправностей вызывает зарастание отводящих газоходов мокрыми отложениями и увеличивает их гидравлическое сопротивление. Отложения на лопатках дымососов приводят к разбалансировке тягодутьевых машин. Коррозия газоходов, вызываемая брызгоуносом, приводит к значительным подсосам воздуха, а выщелачивание бетона — к разрушению футеровки аппаратов и износу дымовых труб. Одновременно следует иметь в виду, что повышенный брызгоунос из мокрых аппаратов, понижает температуру отходящих дымовых газов (ниже расчетной), ухудшая тем самым рассеивание их в атмосфере. Отложения, образующиеся на внутренних стенках корпуса, периодически отваливаются и закупоривают выходной патрубок в днище аппарата. Это может привести к накоплению воды в нижней части

скрубберов и переливу ее во входной патрубок, прорыву пробки отложений и выбросу избытка воды через гидрозатвор в помещение.

В процессе эксплуатации установок мокрой очистки газов необходимо следить за герметичностью аппаратов и коммуникаций, не допуская утечек газа, орошающей жидкости или чрезмерных подсосов воздуха; поддерживать оптимальный водный режим работы аппаратов, особенно пенных и ротоклонов, следя за достаточным орошением газа в турбулентных газопромывателях, насадочных скрубберах и других аппаратов, а также постоянно удалять из них шламовую пульпу и транспортировать ее в отведенные места; обеспечивать оптимальный газовый режим работы, в особенности в турбулентных газопромывателях с регулируемым перепадом давления, который определяет эффективность очистки газа; следить за надежной работой каплеуловителей, установленных после аппаратов мокрой очистки газа, в целях достаточной механической осушки его; обеспечивать оптимальный режим работы сооружений по регенерации орошающей жидкости (осветление, охлаждение, обработку реагентами и т. д.) и утилизации уловленного шлама; не допускать скоплений шлама в сооружениях или отложений его в трубопроводах и оборудовании оборотного водоснабжения.

В процессе эксплуатации необходимо вести наблюдения за форсунками и соплами и своевременно их прочищать. Для предупреждения конденсации водяных паров по газовому тракту пылеуловителя необходимо следить за температурой дымовых газов, выходящих из аппарата, которая должна быть выше температуры точки росы на 20—30 °С. Необходимо также контролировать непрерывность вытекания шлама через гидравлический затвор и состояние внутренней поверхности пылеуловителя.

Не допускается работа аппаратов без орошения, даже кратковременная, или с использованием воды, не очищенной от механических примесей в гравийных фильтрах. Следует регулярно промывать входные патрубки пылеуловителей от налипающей на стенки пыли.

При обслуживании пенного аппарата следует постоянно поддерживать оптимальный процесс пенообразования. Высота слоя пены на решетках должна составлять 80—100 мм. Возрастание гидравлического сопротивления без увеличения расхода воды или газа свидетельствует об увеличении диаметра отверстий вследствие коррозии решеток.

При эксплуатации скоростного газопромывателя особое внимание должно уделяться наблюдению за расходом и температурой газа, расходом воды, подаваемой на орошение, гидравлическим сопротивлением аппарата. Для этого установка должна быть оборудована соответствующими приборами контроля. В случае отклонений в расходе воды проверяется работа водяных форсунок; если они засорились, производится их чистка.

При увеличении гидравлического сопротивления аппарата необходимо проверить, не зарастают ли пылью горловика и диффузор промывателя или входной патрубок циклона-каплеуловителя.

При эксплуатации ротоклонов необходимо следить за поддержанием постоянного уровня жидкости в аппарате, так как даже незначительное изменение уровня может привести к резкому снижению эффективности или значительному увеличению гидравлического сопротивления. Процесс поддержания уровня жидкости рекомендуется автоматизировать.

Шлам из отстойника ротоклона должен удаляться периодически (вручную) или непрерывно с помощью скребкового конвейера. Для компенсации потерь воды в ротоклоне вследствие испарения и уноса со шламом в аппарат должна подаваться вода в количестве  $\sim 0,03$  л/м<sup>3</sup> очищаемого газа. Допускается в процессе эксплуатации изменять производительность ротоклонов, в пределах 25 % от номинальной, так как при этом не снижается эффективность аппарата. Необходимо постоянно следить за температурой газа и стремиться не допускать ее отклонений от рекомендуемых инструкциями значений.

Скрубберы Вентури наиболее распространенные аппараты, эффективность которых во многом зависит от качества монтажа. Корпуса скрубберов Вентури могут быть литыми, сварными, а при больших размерах сборными из нескольких элементов (на фланцевых соединениях). Перед монтажом все узлы скруббера Вентури подлежат проверке. На внутренних поверхностях не должно быть неровностей (уступов, вмятин, наплывов). При подготовке к пуску скруббера Вентури следует промыть коллекторы, удалить из них грязь и посторонние примеси.

При эксплуатации мокрых пылеуловителей любого типа не допускается образование отложений в орошающих устройствах. Для этого необходимо очищать орошающую воду от механических примесей.

#### **12.3.1.5. Очистка выбросов предприятий строительной индустрии от пыли методом фильтрации.**

В основе работы пористых фильтров всех видов лежит процесс фильтрации газа через пористую перегородку, в ходе которого твердые частицы задерживаются, а газ полностью проходит сквозь нее,

Фильтрующие перегородки весьма разнообразны по своей структуре, но в основном они состоят из волокнистых или зернистых элементов и условно подразделяются на следующие типы (рис.52 и 53):

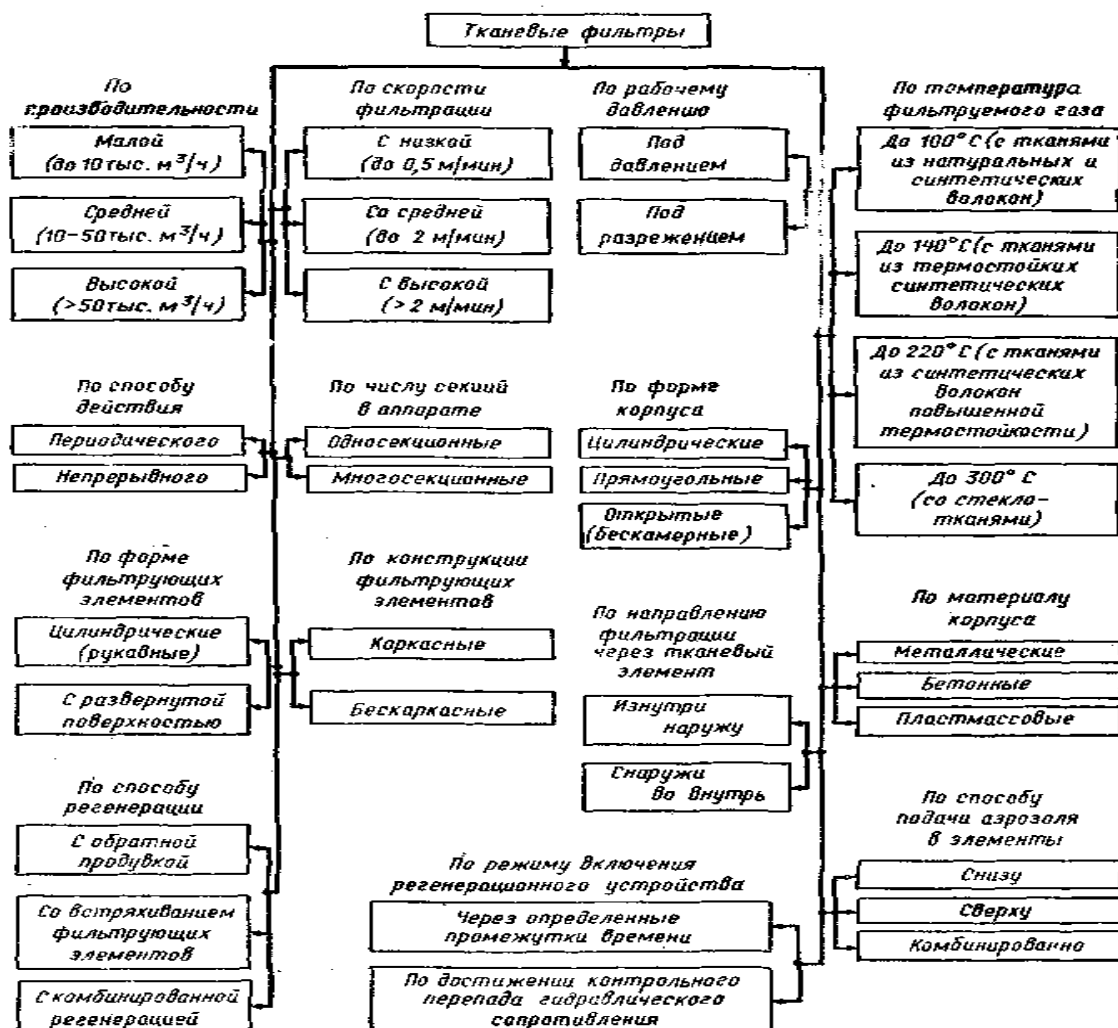
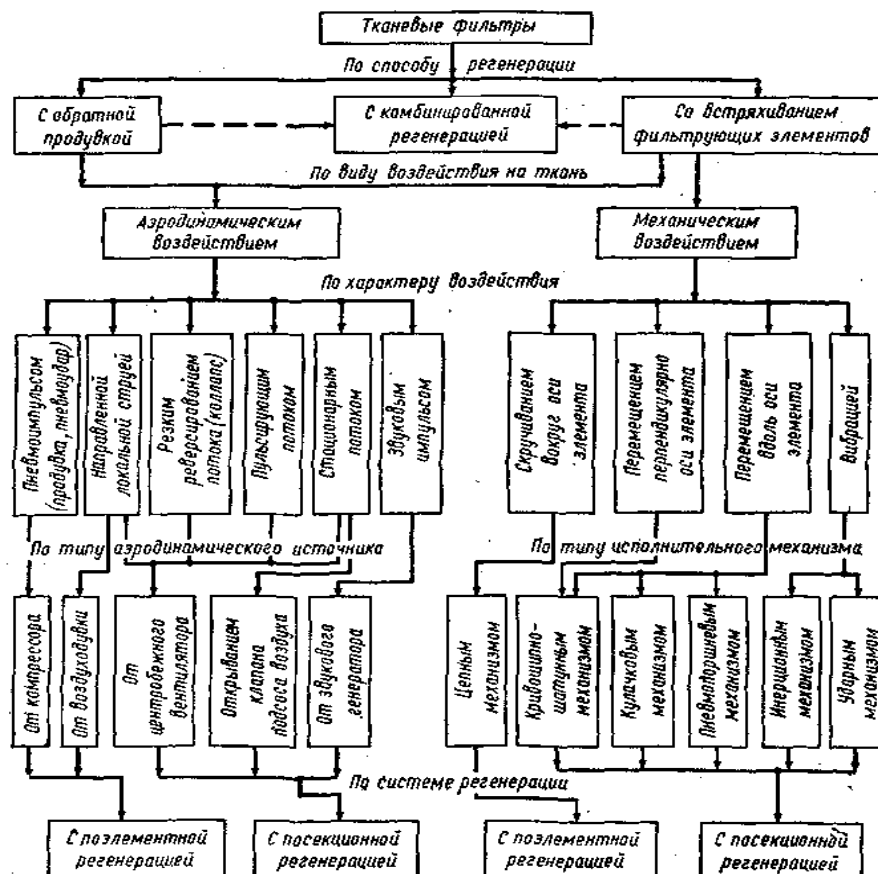


Рис.52 Классификация тканевых фильтров.





**рис.53.Классификация тканевых фильтров по способу регенерации фильтрующих элементов.**

гибкие пористые перегородки - тканевые материалы из природных, синтетических или минеральных волокон; нетканые волокнистые материалы (войлоки, клееные и иглопробивные материалы, бумага, картон, волокнистые маты); ячеистые листы (губчатая резина, пенополиуретан, мембранные фильтры);

полужесткие пористые перегородки - слои волокон, стружка, вязанные сетки, расположенные на опорных устройствах или зажатые между ними;

жесткие пористые перегородки - зернистые материалы (пористая керамика или пластмасса, спеченные или спрессованные порошки металлов, пористые стекла, углеграфитовые материалы и др.); волокнистые материалы (сформированные слои из стеклянных или металлических волокон); металлические сетки и перфорированные листы.

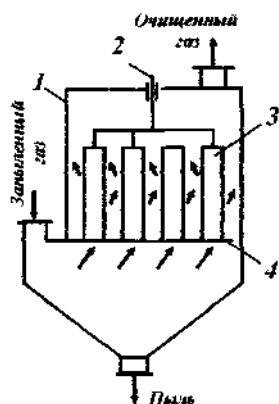
Тканевые фильтры имеют наибольшее распространение. Возможности их использования расширяются в связи с созданием новых температуростойких и устойчивых к воздействию агрессивных газов тканей. Наибольшее распространение имеют рукавные фильтры (рис.54).

Корпус фильтра представляет собой металлический шкаф, разделенный вертикальными перегородками на секции, в каждой из которых размещена группа фильтрующих рукавов. Верхние концы рукавов заглушены и подвешены к раме, соединенной с встряхивающим механизмом. Внизу

имеется бункер для пыли со шнеком для ее выгрузки. Встряхивание рукавов в каждой из секций производится поочередно.

В тканевых фильтрах применяют фильтрующие материалы двух типов: обычные ткани, изготавливаемые на ткацких станках и войлоки, получаемые

путем свойлачивания или механического перепутывания волокон иглопробивным методом. В типичных фильтровальных тканях размер сквозных пор между нитями достигает 100-200 мкм.



**Рис.54. Рукавный фильтр.**

1 - корпус; 2 - встряхивающее устройство;  
3 - рукав; 4 - распределительная решетка.

Тканевые фильтры представляют собой вертикально расположенные секции рукавов 1, помещенные в герметичный стальной корпус 2 прямоугольного или круглого сечения. Отношение длины рукава к диаметру составляет 16-20, а диаметр рукавов колеблется в пределах 125—300 мм. Такие фильтры используются в качестве завершающих ступеней в комплексной установке по очистке газов.

При прохождении запыленного газа через фильтровальную ткань твердые частицы постепенно осаждаются в порах между волокнами, сцепляются друг с другом и образуют пористую перегородку, обеспечивающую совместно с тканью хорошую степень очистки газа. При образовании пылевого слоя определенной толщины, когда резко увеличивается гидравлическое сопротивление аппарата (до 500-2000 Па), производят удаление пыли встряхиванием или обратной продувкой рукавов.

Тканевые фильтры работают в диапазоне температур, верхний предел которых определяется температуростойкостью фильтровального материала, а нижний — точкой росы очищаемого газа.

Степень очистки газа в тканевом фильтре не поддается расчету; ориентировочное ее значение определяют экспериментально в условиях опытов, аналогичных производственным. Основные параметры наиболее распространенных рукавных фильтров приведены в табл.42

Индексация фильтров предусматривает следующие буквенные обозначения: Ф - фильтр; Р -рукавный; О - обратная продувка; К - каркасный; И - с импульсной продувкой; ДИ - с двусторонней импульсной продувкой; У — унифицированный; римские цифры — количество секций; цифры после тире - поверхность фильтрации, м<sup>2</sup> .

Основной характеристикой тканевого фильтра, является общая поверхность его рукавов  $F = z\pi dL$ , где  $z$  — общее число рукавов в аппарате.

Так как во время работы фильтра с обратной продувкой часть его рукавов  $z_{пр}$  отключается на регенерацию, общая площадь поверхности рукавов.

$$F = \frac{F_{\phi} z}{(z - z_{nr})}$$

где  $F_{\phi}$ —расчетная поверхность фильтрации аппарата,  $m^2$ .

При импульсной продувке принимается  $F = F_{\phi}$ .

Для фильтров, имеющих  $n$  самостоятельных секций (табл.42), количество рукавов, работающих одновременно на продувку:  $z_{пр} = z/n$

Для односекционных фильтров можно принять  $z_{пр} = (0,15 \div 0,20)z$ . Расчетная поверхность фильтрации :

$$F_{\phi} = \frac{V_r + V_{пр} + V_{на}}{\omega_r}$$

где  $V_r$  – расход запылённого газа, поступающего в аппарат,  $m^3/c$ ;  
 $V_{пр} = (0,1 \div 0,2)$ ,  $V_r$  – расход продувочного воздуха,  $m^3/c$ .  $V_{пв}$  = расход подсасываемого в аппарат воздуха,  $m^3/c$ ;  $\omega_r = (0,8-0,1) \cdot 10^{-2} m^3 / (m^2 c)$  – допускаемая удельная нагрузка тканевого фильтра по газу.

Расход подсасываемого воздуха зависит от температуры запыленного газа, поступающего в фильтр. Если запыленный газ подходит к фильтру с высокой температурой  $t_r$ , которую необходимо снизить до температуры смеси  $t_{см}$  ниже допустимой температуры  $t_d$  за счет подсоса холодного воздуха, то количество этого воздуха можно рассчитать как :

$$V_{на} = V_r \frac{\rho_r (t_r - t_{см})}{\rho_a (t_{см} - t_a)}$$

где  $\rho_r$  и  $\rho_a$ , - соответственно плотность газа и атмосферного воздуха,  $kg / m^3$ ;  
 $t_a$  - температура атмосферного воздуха.

Если запыленный газ подходит к фильтру с температурой  $t_r$  меньше  $t_a$ , то количество подсасываемого воздуха принимают :

$$V_{пв} = (1,05 \div 1,10) V_r.$$

Расчитанная поверхность фильтрации должна быть проверена на допустимую запылённость ткани:  $F_{\phi} \geq G_n / G_d$ ,

Где  $G_n$  – исходное количество пыли в газе,  $г/с$ ;  $G_d = (0,2 \div 1) г/(m^2 c)$  – допустимая удельная запылённость ткани.

**Волокнистые фильтры.** Фильтрующий элемент этих фильтров состоит из одного или нескольких слоев, в которых однородно распределены волокна. Это фильтры объемного действия, так как они рассчитаны на улавливание и накапливание частиц преимущественно по всей глубине слоя. Сплошной слой пыли образуется только на поверхности наиболее плотных материалов. Для фильтров используют естественные или специально получаемые волокна толщиной от 0,01 до 100 мкм. Толщина фильтрующих сред составляет от десятых долей миллиметра (бумага) до 2 м (многослойные глубокие насадочные фильтры длительного использования). Такие

фильтры используют при концентрации дисперсной твердой фазы  $0,5-5 \text{ мг/м}^3$  и только некоторые грубоволокнистые фильтры применяют при концентрации  $5-50 \text{ мг/м}^3$ . При таких концентрациях основная доля частиц имеет размеры менее  $5-10 \text{ мкм}$ .

Различают следующие виды промышленных волокнистых фильтров: 1) сухие тонковолокнистые, электростатические, глубокие, фильтры предварительной очистки (предфильтры); 2) мокрые - сеточные, самоочищаемые, с периодическим или непрерывным орошением.

**Таблица 42.**

**Основные параметры рукавных фильтров.**

Марка фильтра	Общая площадь поверхности фильтра F, м <sup>2</sup>	Число секций n, шт.	Общее число рукавов z, шт	Диаметр рукава d, мм	Длина рукава L, м	Назначение
1	2	3	4	5	6	7
ФРО- 1250-1 ФРО- 1650-1 ФРО-2500- 1	1 266 1 688 2530	6 8 12	252 336 504	200	8	Улавливание различных пылей из сухих газов в цветной и черной металлургии, в промышленности и стройматериалах и т.д.
ФРО-4 100-2 ФРО-5 100-2 ФРО-6000-2 ФРО- 7000- 2 ФРО-8000-2 ФРО-20000-3 ФРО-24000-3	4 104 5 130 6 156 7 182 8 208 20520 24 624	8 10 12 14 16 10 12	432 540 648 756 864 2160 2592	300	10	Улавливание нетоксичных и невзрывоопасных пылей с диаметром частиц не менее 3 мкм при температуре до 130°C
ФРКДИ-550 ФРКДИ-720 ФРКДИ-1100	550 720 1100	1 1 1	216 288 432	135	6	Обезпыливание нетоксичных, пожаро- или взрывоопасных газов в химической и других отраслях промышленности
ФРКИ-30 ФРКИ-60 ФРКИ-90 ФРКИ-180 ФРКИ-360	30 60 90 180 360	1 2 3 4 8	36 72 108 114 228	135	2 2 2 2 3 3	Очистка различных газов в химической и других отраслях промышленности
ФРУИ-15 ФРУП-20 ФРУП-25	15 20 25	2 2 2	28	130	1,5 2,0 2,5	Очистка различных газов в химической и других отраслях промышленности
ФРУШ-37,5 ФРУУ-50	37,5 50	3 4	42 56	130	2,5	

*Зернистые фильтры* применяются для очистки газов реже, чем волокнистые фильтры. Достоинства зернистых фильтров: доступность материала, возможность работать при высоких температурах и в условиях агрессивной среды, выдерживать большие механические нагрузки и перепады давлений, а также резкие изменения температуры. Различают насадочные и жесткие зернистые фильтры.

Для очистки воздуха от туманов кислот, щелочей, масел и других жидкостей применяют волокнистые фильтры туманоуловители, принцип действия которых основан на осаждении капель на поверхности волокон с последующим стеканием жидкости под действием сил тяжести. Туманоуловители делятся на низкоростные ( $V_{\text{ф}} \leq 0,15$  м/с), в которых преобладает механизм диффузного осаждения капель и высокоскоростные ( $V_{\text{ф}} = 2-2,25$  м/с), где осаждение происходит главным образом под воздействием инерционных сил. Волокнистые низкоскоростные туманоуловители обеспечивают очень высокую эффективность очистки газа (до 99%) от частиц размером менее 3 мкм и полностью улавливают частицы большего размера. Волокнистые слои формируются набивкой стекловолокна диаметром от 7 до 30 мкм или полимерных волокон (лавсан, ПВХ, полипропилен) диаметром от 12 до 40 мкм. Толщина слоя составляет 5-15 см. Высокоскоростные туманоуловители имеют меньше габаритные размеры и обеспечивают эффективность очистки газа от тумана с частицами  $< 3$  мкм, равную 90-98%. В качестве фильтрующей набивки в таких аппаратах используются войлоки из полипропиленовых волокон, которые успешно работают в среде разбавленных и концентрированных кислот и щелочей.

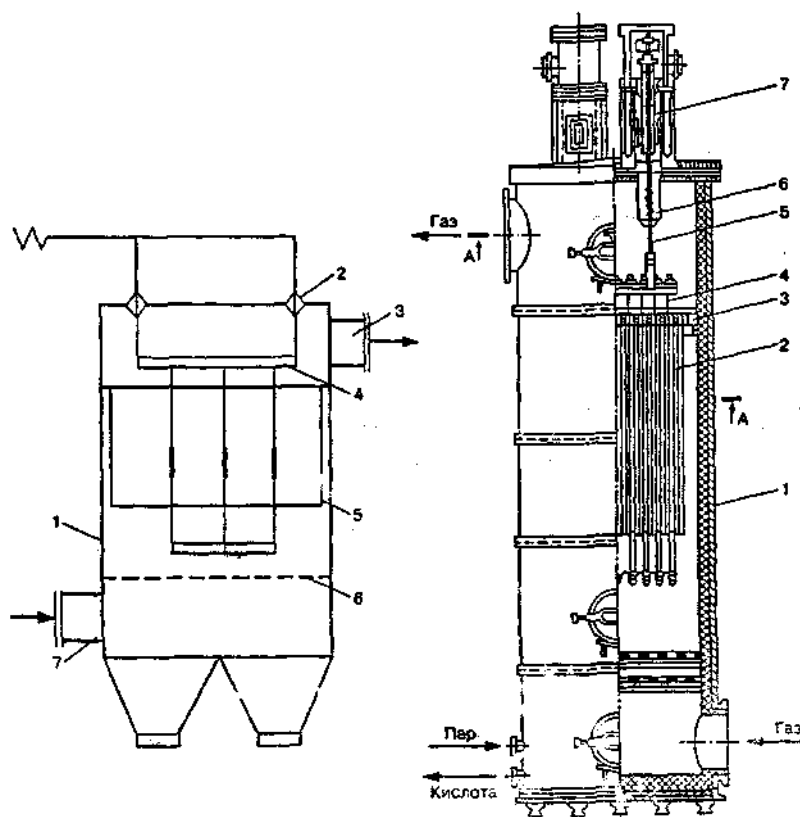
### **12.3.2. Физические методы очистки пылегазообразных выбросов.**

Электростатическая очистка газов основана на электризации загрязняющих частиц размером до 0,1 мкм и выделении их из газа под действием электрического поля (до 50 кВ), создаваемого специальными электродами. При подаче высокого напряжения на коронирующие электроды частицы загрязнений приобретают отрицательный заряд и под действием электрического поля перемещаются к осадительным электродам, которые заземлены и поэтому имеют положительный заряд по отношению к частицам.

Первоначальные затраты на создание электростатических фильтров выше, чем на аппараты других типов, но эксплуатационные расходы ниже. Электростатический метод очистки газов позволяет удалять частицы размером до 0,1 мкм. Эффект очистки составляет 97—99%.

В зависимости от направления движения газов в активной зоне электрофильтры делятся на вертикальные и горизонтальные. По способу удаления осаждающихся на электродах частиц различают сухие и мокрые электрофильтры. Осадительные электроды в сухих электрофильтрах имеют пластинчатую форму, а в мокрых выполняются в виде цилиндрических или шестигранных труб. Сухие электрофильтры предназначены для очистки газов с температурой до 450°C. К ним относятся электрофильтры сухие вертикальные и горизонтальные, многопольные, пластинчатые (рис.54). Для

удаления сухой пыли с электродов применяют различные системы встряхивания. Мокрые электрофилтры применяются для очистки газов от паров кислот: серной, соляной, азотной. Они отличаются от сухих тем, что пыль с электродов удаляют не встряхиванием, а промыванием (рис.55).



**Рис.54. Электрофилтр пластинчатый:** 1 — камера; 2 — изолятор; 3 — выходной газоход; 4 — рама с коронирующим электродом; 5 — осадительный электрод; 6 — распределительная решетка; 7 — входной газоход

**Рис 55. Мокрый трубчатый электрофилтр ШМК:** 1 — стальной цилиндрический корпус; 2 — свинцовые осадительные

электроды; 3 — крышка. 4 — свинцовые коронирующие электроды; 5 — тяги; 6 — коронирующие защитные диски; 7 — коробки с изоляторами, служащими опорами для тяги 5.

Основным элементом электрофилтра является осадительная камера (рис.55), в которой размещены осадительные электроды, выполненные в виде труб (цилиндрических или шестигранных) или пластин. По образованным этими электродами каналам снизу вверх или горизонтально движется запыленный газ. Внутри каналов размещены коронирующие электроды, выполненные из нихромовой проволоки диаметром. 2-3 мм.

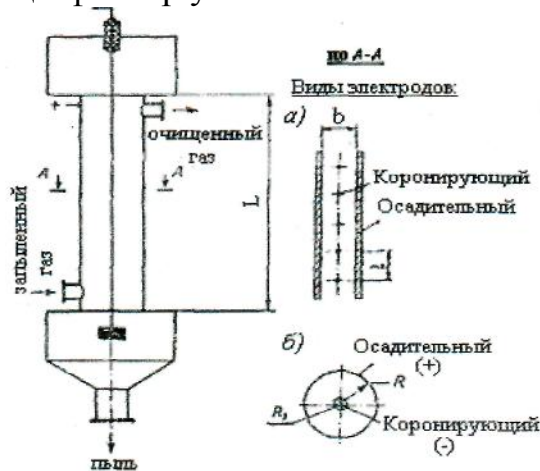
При создании между электродами разности потенциалов в 55-70 кВ газ ионизируется и заряженные ионами твердые частицы переносятся к осадительному электроду.

Электрофилтры устанавливаются как аппараты второй ступени очистки, обеспечивающие эффективность улавливания до 0,99 при начальной запыленности газа до  $0,05 \text{ кг/м}^3$ ; они работают при разряжении в системе от 2 до 5 кПа, создавая гидравлическое сопротивление в 150-200 Па. В табл.43 приведены основные параметры некоторых типов электрофилтров. Как видно из этой таблицы, единой индексации электрофилтров нет. Расшифровка буквенных обозначений следующая: У - унифицированный; Г - с горизонтальным ходом газа; Ц - для улавливания

цементной пыли; Д - для очистки дымовых газов; В - с вертикальным ходом газа; П - пластинчатый;

С - для улавливания сажи (сг) или смолы (с); Т - высокотемпературный; Ш - шестигранные электроды; М - мокрый; К - кислотный.

Цифры после буквенной индексации означают порядковый номер габаритной группы или число электрических полей, или площадь сечения активной зоны фильтра (площадь прохода запыленного газа). Дополнительно буквами обозначено: ск - стальной корпус; жб - железобетонный корпус; бц - фильтр установлен после батарейного циклона.



**Рис.55.Схема электрофильтра пластинчатого (а) и трубчатого (б) электродов.**

Подбор электрофильтра производится в соответствии с заданными условиями его работы по площади сечения активной зоны с последующим проверочным расчетом степени очистки. Площадь сечения активной зоны электрофильтра:

$$f = \frac{KV_r}{\omega_r},$$

где  $V_r$ — объемный расход газа при температуре очистки,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $\omega_r$  - скорость газа в электрофильтре,  $\omega_r = 0,8-2\text{м}/\text{с}$ ; К- 1,1 - коэффициент запаса, учитывающий подсосы атмосферного воздуха.

Таблица 43.

## Основные параметры электрофильтров.

Марка электрофил тра	Площадь сечения активной зоны, f, м	Максимальная температура газа на входе, t°C	Наибольшая степень очистки, η	Удельный расход электроэнергии на очистку 1000 м <sup>3</sup> /ч газа, N уд кВтч	Параметры электродов, м			Назначение
					L	K	R1·10 <sup>3</sup>	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
УГ1-2-10 УП-2-15	10 15	250	0,99	0,3	2,5	---	1,5	Сухая очистка невзрывоопасных газов, образующихся в процессах сушки, обжига, агломерации, сжигания топлива
УГ2-3-26 УГ2-3-37 УГ2-3-53 УГ2-3-74	26 37 53 74							
УГ3-3-88 УГ3-3-115 УГ3-4-177 УГ3-4-230 УГ3-4-265	88 115 177 230 265							
Ц7,5-2ск Ц11,5-2ек Ц23-3жб	7,5 11,5 23							
ДВП-2х16,5бц ДВИ-2х30бц	33, 60	170	0,97-0,99	0,11	7,9	-	1,5	Очистка дымовых газов от золы после батарейных циклонов
СГ-15-3 СГ-15-2	15	250	0,99	0,65	4,8		1,2	Улавливание сажи
ПГ-5,3 ПГ-7,6	5,3, 7,6	65-120	0,95	0,37 0,35	3,5	0,1 35	1,0 1,2	Очистка газов от пыли и смолы при газификации углей



С-3,5 С-5 С-7,2	3,5 5 7,2	100	0,98	0,4	3,5	0,1 25	1,5	Очистка газов от смолы и масел в коксо-химических производствах
УГТ 1-60-3 УГТ 1-80-3	60 80	425	0,97	0,3	2,5	-	1Д	Очистка неагрессивных высокотемпературных газов от пыли
ШМК-2 ШМЗ-3 ШМЗ-6,6	2, 3, 6,6	20-45	0,99	0,4	3,5	0,1 25	. Б5	Очистка газов в производстве серной кислоты, мышьяка, селена

Степень очистки газа в электрофилт্রে:

$$\eta = 1 - \exp(-\omega_{\text{ч}} \cdot a),$$

где  $\omega_{\text{ч}}$  — скорость дрейфа заряженных частиц по направлению к осадительному электроду, м/с;  $a$  — коэффициент, характеризующий геометрические размеры аппарата и скорость газа в нем. Коэффициент  $a$  для всех типов осадительных электродов рассчитывается по формуле:

$$a = L\Pi/(f_3 \cdot \omega_{\text{ч}}),$$

где  $L$  — длина осадительного электрода, м;

$\Pi$  — активный периметр осадительного электрода, м;

$f_3$  — площадь сечения активной зоны, ограниченной стенками осадительного электрода, м<sup>2</sup>.

Для пластинчатых электродов  $\Pi/f_3 = 2/b$ , где  $b$  — расстояние между пластинами. Для всех электрофильтров можно принять  $b = 0,3$  м.

Реальная скорость дрейфа заряженных частиц принимается в два раза меньше рассчитанной из условий стоковского режима осаждения и в большинстве случаев определяется по формуле:

$$\omega_{\text{ч}} = 6 \cdot 10^{-12} \cdot K_{\text{ч}} \cdot E^2 \cdot r_{\text{ч}} / \mu_2,$$

где  $E$  — напряженность электрического поля, В/м;  $r_{\text{ч}}$  — радиус частицы, мкм;

$\mu_2$  — вязкость газа, Па/с;  $K_{\text{ч}} = 1$  — для частиц с размерами от 2 до 50 мкм;

$K_{\text{ч}} = (1 + 1/10^7 r_{\text{ч}})$  — для частиц с размерами от 0,1 до 2 мкм.

Напряженность электрического поля: для трубчатых осадительных электродов:

$$E = \sqrt{\frac{i_0}{2\pi\epsilon_0 k}};$$

для пластинчатых осадительных электродов:

$$E = \sqrt{\frac{i_0 b}{\pi\epsilon_0 l}}$$

Здесь  $i_0$  - линейная плотность тока короны, А/м;  $\epsilon_0=8,85 \cdot 10^{-12}$  - электрическая постоянная, Ф/м;  $k$  - подвижность ионов,  $\text{м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$  (табл.44);  $b$  - расстояние между пластинами электродов, м;  $l$  - расстояние между соседними коронирующими электродами в ряду, м (для большинства случаев  $l = 0,25$  м).

Линейная плотность тока короны: для трубчатых электродов:

$$i_0 = \frac{2k}{9 \cdot 10^9 \cdot R^2 \ln R \frac{R}{R_1}} U(U - U_0);$$

**Таблица.44.**

**Подвижность ионов в газах и парах при нормальных условиях.**

Газ и пары	Подвижность ионов, $\text{к} \cdot 10^4 \text{м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$		Газ и пары	Подвижность ионов, $\text{к} \cdot 10^4 \text{м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$	
	отрицательных	положительных		отрицательных	положительных
Азот	1,84	1,28	Гелий	6,31	5,13
Азот (очень чистый), аммиак	1,44	-	Двуокись углерода	0,96	-
Водород	0,66	0,57	Двуокись углерода, насыщенная водяными парами при 25 °С	0,82	-
Водяной пар при 100 °С	8,13	5,92	Кислород	1,84	1,32
Воздух;	0,57	0,62	Окись углерода	1,15	1,11
очень чистый	2,48	1,84	Сернистый ангидрид	0,41	0,41
сухой	2,10	1,32			
насыщенный	1,58	-			
водяными парами при 25 °С					

Для пластичных электродов:

$$i_0 = \frac{4\pi^2 k k_1}{9 \cdot 10^9 \cdot l^2 \left( \frac{\pi b}{2l} + \ln \frac{2\pi R_1}{l} \right)} \cdot U \cdot (U - U_0);$$

Здесь в дополнение к ранее принятым обозначениям:  $U$  - напряжение на электродах, В;  $U_0$  - критическое напряжение (напряжение возникновения коронного разряда), В;  $R$  - радиус осадительного электрода, м (при ориентировочных расчетах можно принимать  $R = 0.15$  м);  $R_1$  - радиус коронирующего электрода, м (при ориентировочных расчетах можно принимать  $R_1 = 0.0015$  м),  $k_1 = 0.12 (1/b)^2$  - коэффициент компоновки электродов между пластинами. Критическое напряжение возникновения коронного разряда:

для трубчатых электродов:

$$U_0 = E_0 R_1 \ln \frac{R}{R_1},$$

Для пластичных электродов:

$$U_0 = E_0 R_1 \left( \frac{\pi b}{2l} - \ln \frac{2\pi R_1}{l} \right).$$

Здесь  $E_0$  - критическая напряженность, рассчитываемая по формуле:

$$E_0 = 3.04 (\beta + 0.0311 \sqrt{\frac{\beta}{R_1}}) 10^6,$$

где  $\beta$  - отношение плотностей газа при рабочих и нормальных условиях, которое можно рассчитать по формуле:

$$\beta = \frac{293}{273 + t} \left( 1 \pm \frac{p}{10^5} \right),$$

где  $t$  - рабочая температура газа, °С;  $p$  - избыточное давление или разрежение в газоходе, Па.

### 12.3.3. Физико-химические методы очистки пылегазообразных выбросов.

При очистке воздуха хорошо используются методы, основанные на физико-химических взаимодействиях загрязнителей с очищающими агентами. К таким методам относится промывка выбросов растворителями, как не реагирующими с загрязнениями (метод абсорбции), так и вступающими с ними в химическое взаимодействие (метод хемосорбции). Применяется также поглощение газообразных загрязнений твердыми активными веществами (метод адсорбции), каталитическое разложение загрязнений, термическая обработка выбросов и др.

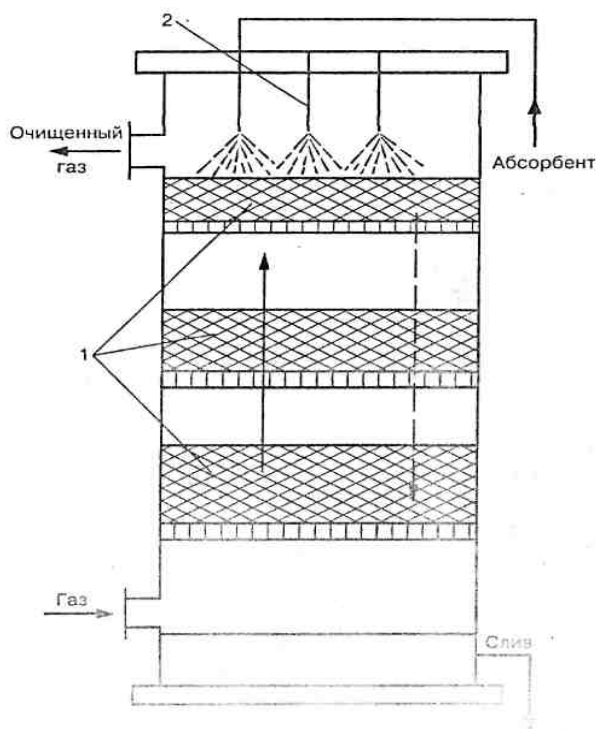
*Метод абсорбции* основан на разделении газовойоздушной смеси на составные части путем поглощения одного или нескольких газовых компонентов этой смеси жидким поглотителем (абсорбентом). Физическая сущность процесса

абсорбции заключается в том, что при соприкосновении жидких и газообразных веществ растворимый в жидкости компонент газовой смеси переходит через поверхность раздела фаз и диффундирует во внутренние слои жидкости. Решающим условием при выборе жидкого абсорбента является растворимость в нем извлекаемого компонента и ее зависимость от температуры и давления. Чем больше парциальное давление газа над жидкостью, тем большее его количество можно растворить в жидкости. Для удаления из выбросов аммиака, хлористого и фтористого водорода применяют воду. Для удаления ароматических углеводородов, водяных паров используют серную кислоту.

Применяют абсорберы различных конструкций: пленочные, форсуночные, трубчатые. Наибольшее распространение в качестве абсорберов получили скрубберы (рис. 56). В качестве насадки, обеспечивающей большую поверхность контакта газа с жидкостью в скрубберах используются кольца Рашига, кольца с перфорированными стенками и др. Материалы для изготовления насадки выбираются из соображений антикоррозионной устойчивости (керамика, фарфор, уголь, пластмассы и др.).

*Метод хемосорбции* основан на поглощении газов и паров жидкими и твердыми поглотителями с образованием химических соединений. Этот метод используется для удаления из выбросов сероводорода. В качестве химического поглотителя при этом используется мышьякощавельные и этаноламиновые растворы. Растворителем для очистки выбросов от хлористого водорода также является 3%-ный раствор едкого натра. Этот метод применяется также для очистки выбросов от окислов азота.

**Рис 56. Орошаемый скруббер-абсорбер с насадкой:**



**1-насадка; 2-разбрызгиватель.**

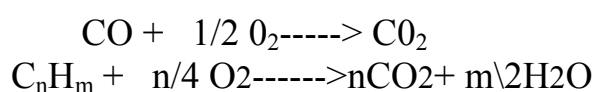
Метод адсорбции основан на извлечении из газовых смесей вредных примесей с помощью твердых адсорбентов. Наиболее широко в качестве адсорбента используется активированный уголь. Он применяется для очистки газов от паров органических соединений, удаления неприятных запахов и газообразных примесей, содержащихся в незначительных количествах в промышленных выбросах. В качестве адсорбентов, применяются также оксиды разной природы - активированный глинозем, силикагель, активированный оксид алюминия, синтетические цеолиты и др. Некоторые адсорбенты иногда пропитываются реактивами, повышающими эффективность адсорбции и превращающими вредную примесь в безвредную за счет происходящей на поверхности адсорбента хемосорбции. Одним из основных параметров при выборе адсорбента является адсорбционная способность по извлекаемому компоненту. Адсорбционная способность зависит от концентрации адсорбируемого вещества (парциального давления) у поверхности адсорбента, общей площади этой поверхности, физических и химических свойств адсорбируемого вещества и адсорбента, температурных условий и присутствия других примесей. Регенерацию адсорбентов осуществляют либо нагревом отработавшего адсорбента до температуры, превышающей рабочую, либо продувкой его паром или горячим газом. Конструктивно адсорберы выполняются в виде вертикальных, горизонтальных либо кольцевых емкостей, заполненных пористым адсорбентом, через который фильтруется поток очищаемого газа. Вертикальные адсорберы находят применение при небольших объемах очищаемого газа. Горизонтальные и кольцевые - при высокой производительности. Наибольшее распространение получили адсорберы периодического действия, в которых фильтрация газа происходит неподвижный слой адсорбента. В них период контактирования очищаемого газа с адсорбентом чередуется с периодом регенерации адсорбента. В адсорберах непрерывного действия фильтрация происходит через движущийся слой адсорбента под действием силы тяжести или в восходящем потоке очищаемого воздуха. Это позволяет более полно реализовать адсорбционную способность адсорбента по сравнению с использованием неподвижного слоя, но следует отметить большие потери адсорбента за счет ударов частиц друг о друга.

На рис.56, представлена схема адсорбционной установки, для удаления  $SO_2$  из горячего топочного газа, в которой в качестве адсорбента используется древесный активированный уголь.

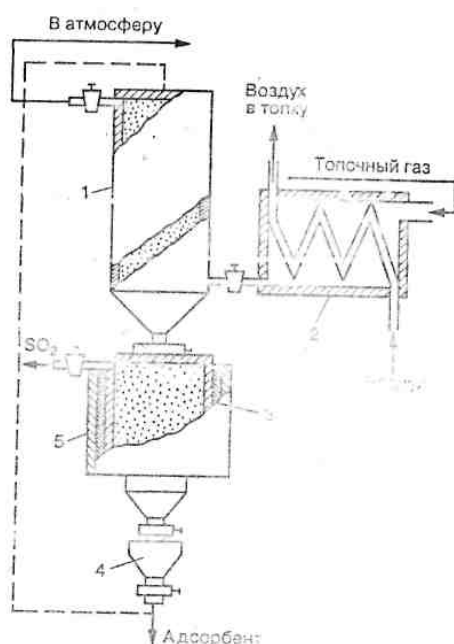
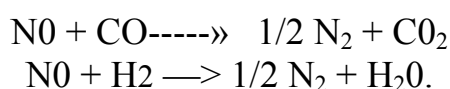
Каталитический метод очистки заключается в селективном ускорении химической реакции превращения загрязнителя в безвредное вещество. При использовании этого метода реакционная смесь — воздух с загрязнителями пропускается над катализатором. Загрязнители адсорбируются на его поверхности и реагируют с кислородом воздуха (или иным реагентом — окислителем, содержащемся в реакционной смеси) со скоростями в тысячи и миллионы раз превышающими скорости реакции загрязнителя с кислородом в газовом потоке в отсутствие катализатора. Образовавшиеся на поверхности

катализатора безвредные продукты окисления загрязнителя десорбируются уносятся с потоком воздуха.

В качестве примера рассмотрим устройство и принцип работы автомобильного нейтрализатора выхлопных газов. Как отмечалось выше, основными вредными веществами, выбрасываемыми двигателями внутреннего сгорания (ДВС), являются оксид углерода, углеводороды и окислы азота. Для превращения  $\text{CO}$  и  $\text{C}_m\text{H}_n$  в безвредные соединения их следует окислить до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ , а  $\text{NO}_x$  восстановить до молекулярного азота. Таким образом, для обезвреживания основных вредных веществ в выбросах отработанных газов ДВС необходимо провести две реакции — окислительную и восстановительную. Окислитель — имеется. Это содержащийся в воздухе кислород, окисляющий оксид углерода и углеводорода по реакциям:



В качестве восстановителей можно использовать имеющиеся в выхлопных газах  $\text{CO}$  и  $\text{H}_2$  :



**Рис 56. Схема адсорбционной установки:**

1-адсорбер; 2-теплообменник; 3-подогреватель; 4-бункер; 5-десорбер.

В отсутствие катализаторов при температуре, характерной для его выхлопа ДВС эти реакции протекают очень медленно. Для их ускорения используют платиновые и палладиевые катализаторы. Платина — универсальный катализатор, обеспечивающий резкое ускорение реакций и окисления, и восстановления. Палладий, как правило, используется для ускорения только окислительных реакций.

Для восстановительных применяют рутений, оксиды меди, марганца, ванадия, хрома и др. Однако их эффективность значительно ниже по сравнению с платиной и палладием. Поэтому, несмотря на высокую стоимость, используют катализаторы на основе платиновых металлов. Катализатор наносят на носитель, в качестве которого используют керамические или изготовленные из тугоплавких оксидов (например, оксидов алюминия  $Al_2O_3$ ) блоки или гранулы с развитой поверхностью. Эффективность нейтрализатора зависит от температуры катализатора. Различают низко- и высокотемпературные катализаторы. Первые характеризуются высокой активностью при сравнительно низкой температуре (100 - 300°C). К ним относятся смесь оксидов марганца, меди, ванадия, хрома и др. Высокотемпературные катализаторы (платина, палладий) эффективны при температурах выше 300°C. В последнее время созданы системы нейтрализации с гранулированным палладиевым катализатором для всех грузовых, легковых автомобилей и автобусов.

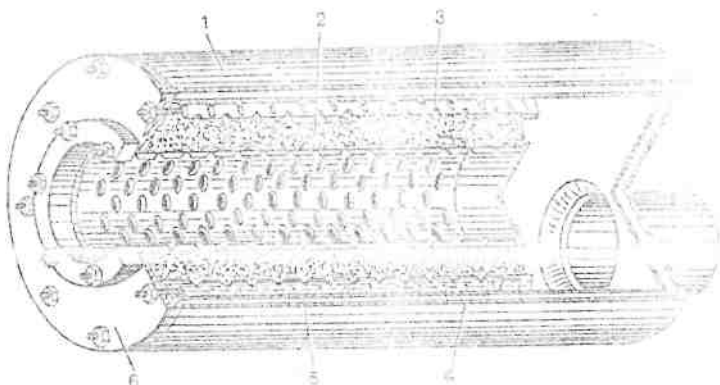
Каталитические нейтрализаторы снижают мощность ДВС, имеют относительно большую стоимость, недостаточную долговечность (до 80 000 км пробега) и не достаточно надежны в эксплуатации. В нейтрализаторах дизелей, работающих на сернистых топливах, происходит «отравление» катализатора диоксидом серы. «Отравление» заключается в образовании сульфата алюминия при реакции между  $SO_2$  и материалом носителя  $Al_2O_3$ . В результате снижается пористость носителя и газопроницаемость катализаторов. Эффективность нейтрализаторов ухудшается также по мере оседания на их поверхности сажи. Для частичного восстановления эффективности катализаторы подвергают регенерации путем выдерживания в воздушной среде при высокой температуре или в горячей воде с последующей промывкой водой. Применение этилированного бензина приводит к быстрому «отравлению» катализаторов (в течение 100 - 200 часов работы) соединениями свинца.

Для снижения токсичности выхлопных газов применяют жидкостные нейтрализаторы, принцип работы которых заключается в задержке твердых частиц, поглощении водорастворимых и химическом преобразовании газообразных вредных веществ при пропускании отработавших газов через воду, водные растворы различных химических соединений или при контакте между этими веществами.

Жидкостные нейтрализаторы применяют для уменьшения содержания альдегидов и оксидов азота при использовании дизельных двигателей. Наиболее эффективны 10%-ные водные растворы  $Na_2SO_3$  или  $NaHSO_3$  с добавкой 0,5% гидрохинона для предохранения от преждевременного окисления основного реагента.

Таким методом может быть достигнута полная очистка газов от альдегидов, а содержание окислов азота снижено на 70%. При этом происходит понижение температуры отработанных газов, что очень важно при работе дизелей во взрывоопасных условиях, а также уменьшается их неприятный запах. При этом частично удаляется и сажа. На рис.57

представлена схема жидкостного нейтрализатора, применяемого в двухтактном дизельном двигателе.



**Рис. 57. Каталитический нейтрализатор:**

1-корпус; 2-реактор; 3-сетка; 4-теплоизоляция; 5-катализатор; 6-фланец.

**Термический метод** основан на дожигании и термической деструкции вредных веществ в выбросах. Используется в том случае, когда вредные примеси в выбросах горючи. Этот метод применяют для очистки выбросов от лакокрасочных и пропиточных участков. Системы термического и огневого обезвреживания обеспечивают эффективность очистки до 99%.

Кроме выше рассмотренных ГОУ, для очистки газозвдушных смесей используются устройства, представленные в таблице 45. В таблице 45 приведены ГОУ и комплексы, обеспечивающие эффективную очистку технологических выбросов на предприятиях строительной индустрии.

**Таблица 45.**

**Современные устройства для очистки газозвдушных смесей стационарных и передвижных объектов строительной индустрии.**

Газоочистные установки	Технические характеристики	Эффективность очистки, %	Область применения
1	2	3	4
Установка очистки вентиляционных выбросов	Производительность- 5000 м <sup>3</sup> /ч. Скорость пропускания воздушной смеси — 5 м/с	более 80	Для очистки воздуха от паров кислот и щелочей
2. Установка для очистки воздуха и различных веществ	Суммарная исходная концентрация токсичных газов 100-200 мг/м <sup>3</sup> , скорость фильтрации – 1 м/с	60-80	Для санитарной обработки воздуха от аммиака, сернистого ангидрида, оксидов азота, формальдегида, ацетальдегида, жидких аэрозолей



3. Установка	Производительность — 400 м <sup>3</sup> /ч, площадь фильтрующей поверхности — 0,8 м <sup>3</sup>	80 -90	Для очистки воздуха, удаляемого из зон заточки инструмента, и т.д.
4.Конвекционный уловитель примесей		97-99	Для тонкой очистки примесей из организованных источников выброса. Устанавливается после группы пылеулавливающих циклонов (ЦН—11, 15, 24 батарейных или групповых)
5.Температурно-инерционный осадитель	Производительность — 50000-100000 м <sup>3</sup> /ч	90-95	Для отделения твердых частиц от организованных высокоскоростных потоков газов после котлоагрегатов котельных, сушилок.
6.Индукционный преобразователь газа	Производительность - 50000 м <sup>3</sup> /ч	90-95	Предназначен для активизации газовых примесей и кислорода путем воздействия на него неоднородным электрическим полем высокого напряжения и устойчивым коронным разрядом. Устанавливается после устройств в 1-ой и 2-ой ступени очистки перед фильтрующей установкой. Может быть использован для диссоциации смесей (углеводородов и др.) с возможностью получения на выходе простых нетоксичных соединений (напр., углекислого газа и воды)

7. Вихревой трибоэлектростатический фильтр	Производительность – 4-12 тыс. м <sup>3</sup> /ч	90-96	Для отделения твердых примесей из высокоскоростных потоков, причем он имеет возможность отделять как жидкие, так и твердые примеси
8. Вихревой аппарат с 3-х фазным слоем	Характеризуется стабильной работой в широком диапазоне нагрузок по газу – 60-100 % от номинальных нагрузок	Для пыли среднего состава -не ниже 99,7, тонкого состава -не ниже 95	Для пылеулавливания и очистки отходящих газов со сварочных участков
9. Устройство обработки топливовоздушной смеси	Снижает токсичность выхлопных газов: оксид углерода в 3-5 раз, углеводородов - в 2-3 раза, позволяет экономить не менее 10 % топлива		Для обработки топливно-воздушной смеси для карбюраторных ДВС различных типов автотранспорта
10. Индивидуальные агрегаты АЭ2-12, АЭ3-12	Очистка аспирационного воздуха сушильных установок и выбросов котельных от твердых частиц.		
11. Индивидуальные пылестружкоулавливающие агрегаты ВЦНИИ ОТ-900	Улавливание сухой несминающейся пыли		

Таблица 46.

**Газоочистные установки для очистки газовоздушных смесей от различных технологических процессов (агрегатов, установок) на предприятиях.**

Наименование производства. цехов	Загрязняющие вещества	Газоочистительные установки
Пропарка, промывка цистерн, дезактивация, дегазация.	ксилол, толуол, бензол, углеводороды, бензин, керосин, ацетон	Абсорберы, адсорберы, индукционные преобразователи газов, каталитические нейтрализаторы
Цеха пропитки шпал	Нафталин, фенолы, пиридин, каменноугольные и сланцевые масла, углеводороды	Абсорберы, адсорберы, скрубберы полые или с насадкой, индукционные преобразователи газов, термокатализаторы
Окрасочные участки	Ксилол, толуол, бензол, ацетон, этилацетат, этиловый и бутиловый спирты, скипидар, соединения свинца, бутилацетат.	Гидрофилльтры, пенные аппараты, установки каталитического окисления паров растворителей
Механические, деревообрабатывающие участки, отделения	Древесная, металлическая, абразивная пыль, оксид железа, медь.	Конвекционные пылеуловители, циклоны, фильтры, инерционные пылеуловители, скрубберы
Сварочные участки	Фтороводород, фториды, оксиды железа, углероды, хром и его соединения, оксид азота, марганец и его соединения	Электрофилльтры, вихревые трибоэлектростатические фильтры, циклоны, групповые и батарейные, пенные аппараты, орошаемые водой абсорберы.
Гальванические участки	Хромовый ангидрид, войлочная пыль, соли никеля, кислоты, щелочи	Мокрые электрофилльтры, абсорберы, сетчатые, волокнистые фильтры
Котельные	Сажа, оксид углерода, диоксид азота, сернистый ангидрид, пятиоксид ванадия.	Температурно-инерционные осадители, скрубберы, групповые циклоны.

**12.4. Выбор оборудования для механической очистки выбросов на основе их характеристик.**

Работа устройств механической очистки характеризуется эффективностью очистки  $\Xi$ , гидравлическим (аэродинамическим) сопротивлением и экономическими показателями[32].

Степень очистки (эффективность)

$$\Xi = (A_1 - A_2) / A_1,$$

где  $A_1$  и  $A_2$  - концентрация пыли в выбросах до и после очистки. Чаще всего эффективность очистки выражают в процентах. Если очистка воздуха ведется не в одну, а в две ступени, то общая эффективность очистки

$$\mathcal{E}_0 = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1 \cdot \mathcal{E}_2,$$

где  $\mathcal{E}_1$  и  $\mathcal{E}_2$  - эффективность очистки на первой и второй ступенях.

При сравнении эффективности двух аппаратов очистки, если один аппарат, например, задерживает в выбросах 85 % пыли, а другой 90 %, то он считается лучше первого не на 5 %, а в 1,5 раза, поскольку

$$\frac{100-85}{100-90} = 1,5$$

Гидравлическое сопротивление устройств механической очистки выражается в Па и есть не что иное, как разность полных напоров загрязненного потока на входе в аппарат и очищенного потока на выходе.

В зависимости от содержания пыли в очищенных выбросах различают грубую, среднюю и тонкую очистку.

**Вид очистки      Размер частиц пыли, мкм      Конечная концентрация пыли**

		<b>в воздухе, мг/м<sup>3</sup></b>
Грубая	Более 100	Более 50
Средняя	От 10 до 100	От 2 до 50
Тонкая	Менее 10	Менее 2

Если по санитарным нормам выбросы подвергаются средней или тонкой очистке и однократная очистка не дает требуемого результата, то выполняют двухступенчатую очистку, на первой ступени применяют аппарат для грубой очистки, например батарейный циклон, а на второй - для тонкой, например скруббер.

Если содержание вредных веществ после второй ступени очистки превышает допустимые среднесуточные концентрации, то дальнейшее снижение концентрации достигается методом рассеивания выбросов в атмосфере. Необходимая высота трубы для рассеивания равна, м,

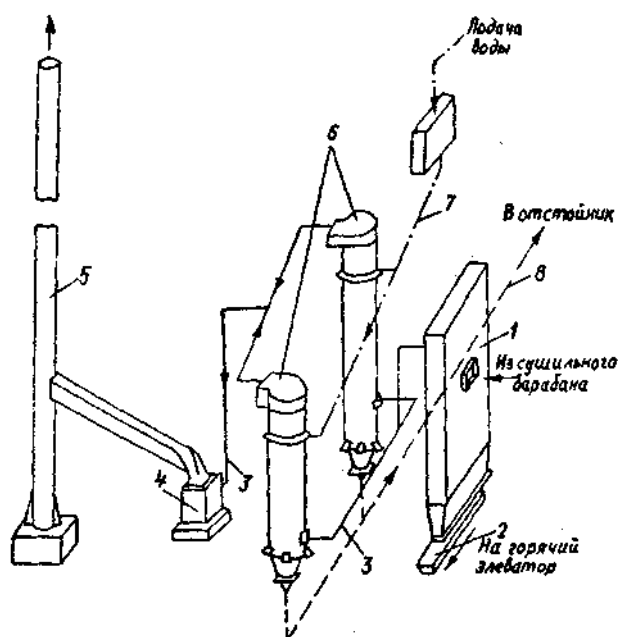
$$H = \sqrt{0,235 \cdot G / v \cdot \text{ПДК}_{\text{с.с.}}},$$

где  $H$  - высота трубы, м,  $G$  - суммарный расход вредных веществ однонаправленного действия из трубы, кг/с;  $v$  - средняя скорость ветра, м/с; ПДК<sub>с.с.</sub> - предельно допустимая среднесуточная концентрация вредных веществ в воздухе населенных мест, мг/м<sup>3</sup>.

Предварительно аппарат для механической, очистки можно выбрать по данным, приведенным в табл. 47 и 48. Если требованиям к эффективности очистки удовлетворяют пылеуловители нескольких классов, то выбирается пылеуловитель низшего класса, так как чем выше класс пылеуловителя, тем выше его стоимость.

Если требованиям к эффективности очистки удовлетворяют пылеуловители различных типов, выбирается пылеуловитель сухого типа. Пылеуловители сухого типа нельзя применять для очистки взрывоопасных пылей. Такие пыли улавливаются аппаратами мокрого типа.

Выбор конкретного аппарата зависит от дисперсного состава пыли, физико-химических свойств пыли, эффективности очистки, требуемой производительности, допустимого гидравлического (аэродинамического) сопротивления, температуры очищаемых выбросов. Предельно допустимая температура выбросов для\* пылеуловителей определяется материалом конструкции аппарата, обычно не должна превышать 400-500 °С. Предельно допустимая температура выбросов для фильтров определяется максимально допустимой температурой фильтроматериала, например: для асбестовой ткани - 90 °С, войлока - 130 °С, металлической сетки - 500 °С. Если температура очищаемых выбросов выше допустимой температуры, то загрязненный воздушный поток перед очисткой должен быть предварительно охлажден до допустимой температуры, например, разбавлением за счет подсоса воздуха.



**Рис.57. Пылеулавливающая установка двухступенчатой очистки с центробежными скрубберами на цементном заводе:** 1 - батарейный циклон; 2 - конвейер; 3 - газотводные трубопроводы; 4 - вентилятор; 5 - дымовая труба; 6 - скруббер; 7 - водопровод; 8 - шламопровод.

<b>Таблица 47</b>			
Класс	Размер частиц пыли, мкм	Группа пыли по дисперсности	Эффективность пылеуловителя
I	0,3-0,5	V	0,8
		IV	0,999-0,8
II	2	IV	0,92-0,45
		III	0,999 - 0,92
III	4	III	0,990-0,8
		II	0,99
IV	8	II	0,999-0,95
		I	0,999
V	20	I	0,99

Таблица 48.							
Тип Сопротивление пылеуловителя	Класс  пылеуловителя	Группа пыли по					Па
		<u>дисперсности</u>					
		I	II	III	IV	V	
Пылеосадительные камеры	V	+	+				100-200
Жалюзийные пылеуловители	V	+	+				250-500
Циклоны большой пропускной способности :							
одиночные	V	+	+				400-600
групповые							500-700
Циклоны высокой эффективности	IV		+	+			1200-2000
Рукавные тканевые фильтры	II			+	+		1200-2000
Волокнистые фильтры	II				+		600-1000
Электрофильтры	II				+	+	50-100

## 12.5.Расчёт оборудования для механической, физической и физико-химической очистки выбросов.

### Расчёт пылеосадочных камер.

Расчет пылеосадочных камер ведется в такой последовательности:

1) задаются минимальными размерами частиц пыли ( $d$ , мк), которые необходимо уловить и находят скорость их витания, м/с,

$$v_H = d^2 \cdot p / (18 \cdot \mu),$$

где  $p$  — плотность пыли, кг/м<sup>3</sup>;  $\mu$  — динамическая вязкость пыли, Па·с;

2) площадь осаждения, м<sup>2</sup>,

$$S = Q/(3600v_H),$$

где Q- количество воздуха, подлежащего очистке, м<sup>3</sup>/ч.

3) задаются шириной камеры b и находят ее длину, м,

$$l = S/b:$$

4) принимают скорость движения газа в камере, находят ее высоту, м,

$$h = Q/(3600-bv_r),$$

где v<sub>r</sub> - скорость движения газа в камере, м/с.

### Расчет ячейковых фильтров

Последовательность расчета ячейковых фильтров:

1) допустимая концентрация пыли в приточном воздухе, мг/м<sup>3</sup>,

$$C_{пр}=0,3ПДКр.з;$$

2) требуемая эффективность очистки воздуха, %,

$$\eta=100(C_0-C_{пр})$$

где C<sub>0</sub> - концентрация пыли в очищаемом воздухе;

3) по каталогу выбираем ячейковый фильтр и производительность одного фильтра q;

4) число фильтров

$$n = Q/q;$$

5) суммарная площадь фильтрующей поверхности, м<sup>2</sup>

$$S=a \cdot b \cdot n,$$

где a и b - размеры поперечного сечения фильтра (принимаются по каталогу):

6) суммарная пылеемкость фильтра, г,

$$n_p = p \cdot S...,$$

где p - удельная пылеемкость фильтра, г/м<sup>2</sup> (принимается по каталогу);

7) продолжительность эксплуатации фильтра без замены материала, ч,

$$\tau=1000П_p/[(C_0-C_{пр}) \cdot Q].$$

### Расчет циклонов

#### Пример

Система вентиляции удаляет с участка Q<sub>r</sub>=12000 м<sup>3</sup>/ч загрязненного воздуха. Количество пыли в загрязненном воздухе q= 3924 г/ч. Дисперсный состав пыли представлен в табл.47. Плотность воздуха на входе в пылеулавливающую установку p<sub>в</sub> = 1,2 кг/м<sup>3</sup>. Плотность пыли p<sub>п</sub>=2500 кг/м<sup>3</sup>. Необходимая степень очистки 94 %.

Размер частиц, мкм	Средний диаметр частиц, мкм	Содержание, % по массе
5	2,5	10
5-10	7,5	25
10-30	20	40
30-50	40	15
50	50	10

### Порядок расчета

Принимаем в качестве пылеулавливающего устройства циклон ЦН-15. Для циклонов этого типа оптимальное отношение потерь давления к плотности воздуха  $\xi P/p_v = 50 - 75$ . Принимаем  $\xi P/p_v = 60$ ,  $\xi P$  - потеря напора в циклоне, мм вод. ст.,  $p_v$  - плотность воздуха на входе в циклон, кг/м<sup>3</sup>.  
Условная скорость движения воздуха в циклоне, м/с,

$$\omega_{усл} = \sqrt{60 \cdot 2 \cdot g / \xi} = \sqrt{60 \cdot 2 \cdot 9,8 / 105} = 3,35.$$

Для циклона ЦН-15  $\omega$  оптимальная 3-4 м/с, допустимо;  $\zeta$ -коэффициент местного сопротивления циклона ЦН-15,  $\zeta = 105$ .

Диаметр циклона, м,

$$D = \sqrt{\frac{Q_r}{900 \cdot \pi \cdot \omega_{усл}}} = \sqrt{\frac{12000}{900 \cdot 3,14 \cdot 3,35}} \approx 1,12.$$

Так как циклоны ЦН-15 имеют диаметр от 400 до 800 мм. принимаем к установке 2 циклона диаметром 800 мм. Тогда :

$$Q_u = Q_r / 2 = 6000 \text{ м}^3/\text{ч. Отсюда:}$$

$$\omega_{усл} = 4 Q_u / 3600 \pi D^2 = 4 \cdot 6000 / 3600 \cdot 3,14 \cdot 0,8^2 = 3,32 \text{ м/с}$$

Допустимо. Отношение:

$$\Delta P / p_v = \zeta \cdot \omega_{усл}^2 / 2 \cdot g = 105 \cdot 3,32^2 / 2 \cdot 9,8 = 58,9 \approx 60,$$

$$\Delta P = 58,9 \cdot p_v = 58,9 \cdot 1,2 = 70,7 \text{ мм вод. ст.}$$

По номограмме (рис.58) для определения эффективности циклонов ЦН-15 рассчитываем эффективность улавливания пылей нашего дисперсного состава для эталонного циклона ЦН-600 и стандартной кварцевой пыли  $p_n = 1930 \text{ г/м}^3$ :

$$\begin{aligned} \eta_{общ} &= \frac{q'_{2,5} \cdot \eta_{2,5}}{100} + \frac{q'_{7,5} \cdot \eta_{7,5}}{100} + \frac{q'_{20} \cdot \eta_{20}}{100} + \frac{q'_{40} \cdot \eta_{40}}{100} + \frac{q'_{50} \cdot \eta_{50}}{100} = \\ &= \frac{10 \cdot 25}{100} + \frac{25 \cdot 76}{100} + \frac{40 \cdot 97}{100} + \frac{15 \cdot 98,5}{100} + \frac{10 \cdot 99}{100} = 2,5 + 19 + 38,8 + 14,8 + \\ &+ 9,9 = 85,0 \%. \end{aligned}$$



В нашем примере  $\rho_p = 2500 \text{ кг/м}^3$ ,  $D_{ц} = 800 \text{ мм}$ ,  $R = 70,7 \text{ мм вод. ст.}$ ,  $t = 25^\circ\text{С}$ . Взяв за начальный отсчет  $\eta_{общ} = 85 \%$ , по номограмме расчета циклонов типа ЦН находим для наших условий  $\eta_{общ} = 87 \%$   
Количество пыли в воздухе после очистки:

$$\text{ПДВ} - \quad \eta_{оч.ц} = \frac{q \cdot (100 - 87)}{100} = \frac{3924 \cdot 13}{100} = 510,12 \text{ г/ч} = 0,14 \text{ г/с}, \quad 0,064 \text{ г/с},$$

следовательно, система очистки воздуха в циклонах ЦН-15 не обеспечивает снижение выбросов до ПДВ. Поэтому необходимо установить вторую ступень очистки.

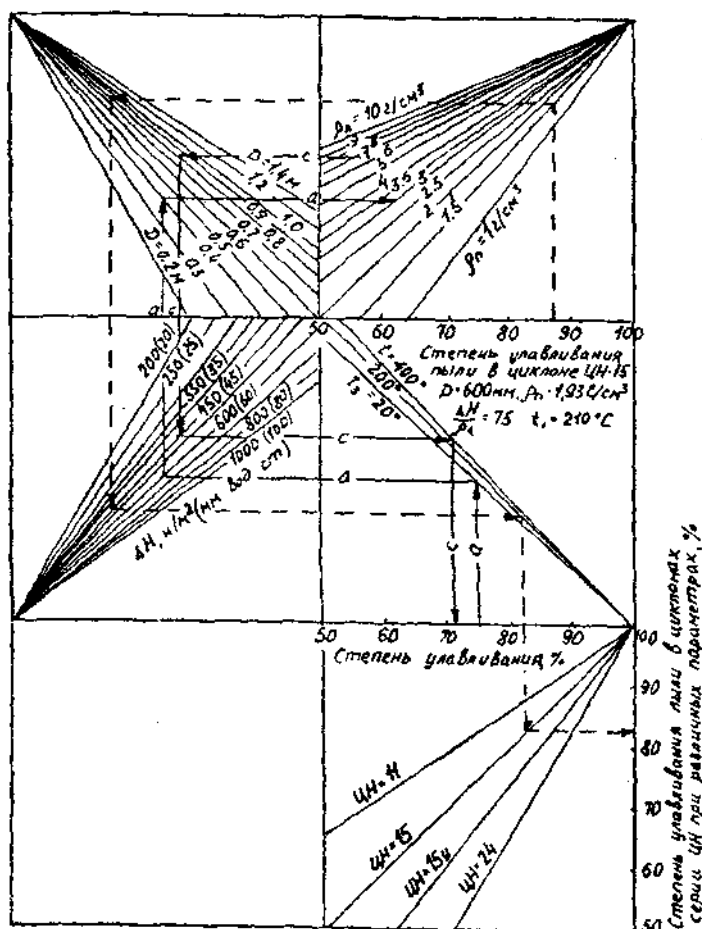


Рис.58.Номограмма

## Расчет рукавных фильтров

### Пример

В качестве второй ступени принимаем рукавный фильтр РФГ с рукавами из натронного волокна.

### Порядок расчета

Принимаем скорость фильтрации  $\omega_f = 0,7 \text{ м/мин}$ , тогда площадь фильтрации составит:

$$F = Q_f / 60 \omega_f = 12000 / 60 \cdot 0,7 = 286 \text{ м}^2.$$

У фильтров РФГ площадь фильтрации одного рукава составляет  $2 \text{ м}^2$ , а секции, состоящей из 14 рукавов,  $f_c = 28 \text{ м}^2$ .

Необходимое число секций:

$$n = F/f_c = 286/28 = 10,2,$$

принимаем число секций 10.

Для установки принимаем 10-секционный фильтр РФГ. Размер фильтра в плане  $3,8 \times 3 \text{ м}$ , высота  $3,5 \text{ м}$ .

Степень очистки воздуха от пыли составляет  $99,5 \%$ . Количество пыли в воздухе после очистки, г/с,

$$q_{\text{оч.р.ф.}} = \frac{q_{\text{оч.в.}} \cdot (100 - 99,5)}{100} = \frac{0,14 \cdot 0,5}{100} = 0,0007,$$

ПДВ -  $0,064 \text{ г/с}$ , очистка очень высокая, поэтому нужно отсосы газов отделить от отсосов пыли. Воздух после очистки в рукавных фильтрах можно подать в цех для приточной вентиляции. Запыленность воздуха после очистки:

$$C = 0,0007 \cdot 1000 / (12000/3600) = 0,21 \text{ мг/м}^3,$$

$$\text{ПДК}_{\text{р.з.}} = 4 \text{ мг/м}^3, 0,3 \cdot \text{ПДК}_{\text{р.з.}} = 1,2 \text{ мг/м}^3, \text{ очистка достаточна.}$$

### Расчет электрофильтров

#### Пример

Рассчитать электрофильтр. Условия задачи те же, что и при расчете рукавных фильтров:  $Q_r = 12000 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $q = 510 \text{ г/ч}$ .

#### Порядок расчета

Запыленность газа на входе в электрофильтр,  $\text{г/м}^3$ ,

$$C_{\text{вх}} = q / Q_r = 510/12000 = 0,0425, \text{ допустимая запыленность до } 50 \text{ г/м}^3, \text{ электрофильтр применять можно.}$$

Необходимая площадь активного сечения фильтра,  $\text{м}^2$ ,

$$F_a = Q/3600 - \omega_f = 12000/3600 - 0,5 = 6,67,$$

где  $\omega_f$  - эффективная скорость фильтрации,  $\omega_f$  до  $0,5 \text{ м/с}$ .

Принимаем для установки электрофильтр Ц-2 с активной площадью секции  $f_a = 7,5 \text{ м}^2$ .

Тогда:

$$\omega_f = Q/3600 - f_a = 12000/3600 - 7,5 = 0,44 \text{ м/с},$$

что лучше для работы фильтра.

Количество пыли после очистки:

$$q_{\text{посл.эл.ф.}} = \frac{q \cdot (100 - \eta_{\text{эл.ф.}})}{100} = \frac{510 \cdot (100 - 96)}{100} = 20,4 \text{ г/ч},$$

где  $\eta_{\text{эл.ф.}} = 95-97\%$ , принимаем  $96 \%$ ; ПДВ =  $0,064 \text{ г/с}$ , следовательно, фильтр удовлетворяет необходимым условиям очистки.

Запыленность воздуха после очистки,  $\text{мг/м}^3$ :

$$C_{\text{оч}} = q \cdot 1000 / Q_r = 20,4 \cdot 1000 / 12000 = 1,7.$$

Допустимое содержание пыли для приточного воздуха, мг/м<sup>3</sup>:

$$C_{пр} = 0,3 \cdot \text{ПДК}_p \text{ з.} = 0,3 \cdot 6 = 1,8,$$

следовательно, воздух после очистки в электрофильтре можно направить в цех для приточной вентиляции, что дает большую экономию энергозатрат на подогрев приточного воздуха.

### **Расчет двухступенчатых систем очистки.**

#### **Расчет комбинированных фильтров.**

Исходные данные: Q - объем воздуха, подлежащего очистке, м<sup>3</sup>/ч;  
t - температура очищаемого газа, °С;  $\rho_p$  - плотность пыли, кг/м<sup>3</sup>; C<sub>об</sub> - общая концентрация пыли, мг/м<sup>3</sup>; C<sub>1</sub> - доля частиц к ней более 1 мкм, мг/м<sup>3</sup>; C<sub>2</sub> - доля частиц в ней менее 1 мкм, мг/м<sup>3</sup>. К<sub>доп</sub> — допустимый коэффициент проскока по наиболее проникающим частицам для фильтра тонкой очистки, К<sub>доп</sub> = 0,001.  $\sum \Delta P_d$  - допустимые суммарные потери давления на фильтре грубой и тонкой очистки, Па; t - время работы фильтра, ч.

Цель расчета: определение типа фильтроматериала, площади фильтрования, времени непрерывной работы до регенерации.

#### **Порядок расчета**

1. Исходя из температуры очищаемого воздуха, физико-химических свойств пыли выбираем материал для фильтра грубой очистки по табл.[32].
2. Если температура очищаемого воздуха превышает предельно допустимую для выбранного фильтроматериала, воздух нужно охладить путем подсоса атмосферного воздуха.
3. Объем воздуха, требуемый для охлаждения, м<sup>3</sup>/ч,

$$Q_v = Q \cdot \frac{(t - t_{\text{доп}})}{(t_{\text{доп}} - t_v)},$$

где t<sub>v</sub>- температура подсасываемого воздуха, °С .

4. Суммарный объем очищаемого воздуха, подаваемого фильтр грубой очистки, м<sup>3</sup>/ч,

$$Q_{\Sigma} = Q + Q_v$$

5. Суммарный объем очищаемого воздуха при рабочих условиях в фильтре, м<sup>3</sup>/ч,  $Q'_{\Sigma} = Q_{\Sigma} \cdot P \cdot t_{\text{ф}} / t_{\text{доп}} \cdot P_{\text{ф}}$ ,

где t<sub>ф</sub>, P<sub>ф</sub>- температура, °С, и давление, Па, в фильтре; P -давление очищаемого воздуха перед фильтром, обычно P = P<sub>бар</sub>, т.е. равно барометрическому давлению, Па; t<sub>ф</sub>=t<sub>доп</sub>; P<sub>ф</sub> = P<sub>бар</sub>+P<sub>изб</sub>, P<sub>изб</sub> – избыточное давление или разрежение в зависимости от типа фильтра, обычно P<sub>изб</sub> не превышает ±5 кПа.

Таблица 48.

Материал	Воздухо-проницаемость при 50 Па, $\text{дм}^3/\text{м}^2\cdot\text{с}$	Коэффициент пылеулавливания (кварцевый песок, размер частиц пыли 50 мкм)	доп. $^{\circ}\text{C}$	Стойкость	
				к щелочи	к кислоте

Ткани

лавсановые:

А) ЛЗ, арт. 216 (рукав);	166	0,995	130	Неуд.	Хор.
Л4, арт. 217 (развернутая, ТУ-17);					
Б) арт. 86013, ОСТ 17-452-74;	136	0,998	130	Неуд.	Хор.
В) арт. 86031, ТУ РФ 8653-75 (двойной лавсан)	69	0,997	130	Неуд.	Хор.

6. Требуемая площадь фильтрации,  $\text{м}^2$ ,

$$F = (Q'_E + Q_P) / V_{\phi},$$

где  $Q_P$  — расход воздуха на регенерацию,  $\text{м}^3/\text{ч}$ , обычно $Q_P = (1,4-2,0)Q_{\Sigma}$ ;  $V_{\phi}$  — скорость фильтрации,  $\text{м}/\text{мин}$  (выбирается по табл.49)[32].7. Гидравлическое сопротивление фильтра грубой очистки определяют по технической характеристике выбранного фильтра, обычно  $\Delta P_1$ , не превышает 2 кПа.8. Концентрация пыли перед фильтром тонкой очистки  $C_2^1$ ,  $\text{мг}/\text{м}^3$ .9. Задаем скорость фильтрации  $V_{\phi}$  для фильтра тонкой очистки. Рекомендуемое значение скорости фильтрации составляет 1-5  $\text{см}/\text{с}$ . В отдельных случаях допустимо увеличение скорости фильтрации до 20  $\text{см}/\text{с}$ . [32]

10. Выбираем фильтроматериал для фильтра тонкой очистки табл.50 [32]

11. Площадь фильтрации,  $\text{м}^2$ ,

$$F = Q / V_{\phi}.$$

12. По данным фильтрации выбираем конкретную марку фильтра (табл. 51).

Таблица 49.

Вид фильтра	Группа дисперсности пыли				
	I	II	III	IV	V
Фильтры со встряхиванием и продувкой	0,45-0,6	0,6-0,75	0,7-0,8	0,8-1,55	0,9-2,0
Фильтры с импульсной продувкой	0,8-2,0	1,5-2,5	2,0-3,5	2,5-4,5	2,5-6,0
Фильтры с обратной продувкой	0,33-0,45	0,45-0,55	0,6-0,9		

Марка материала	Перепад давления, Па, при $V_{\phi}=10$ см/с	Коэффициент проскока $K_p$ , при $V_{\phi}=10$ см/с	Предельная температура, °C
ФПП-15-1,7	17	0,020	60
ФПП-25-3,0	30	0,001	60
ФПП-70-0,5	5	0,010	60
ФПП-15-1,7А	17	0,020	60
ФПП-15-2,0	20	0,010	150

Таблица 50.

13. По величине скорости фильтрации определяем размер наиболее проникающих через материал фильтра частиц пыли (по графику рис.59).  
Минимум на графике соответствует размеру наиболее проникающих частиц.  
14. По размеру наиболее проникающих частиц и скорости фильтрации находим коэффициент фильтрующего действия  $\alpha$  (по графику рис.60).  
15. По найденному значению  $\alpha$  вычисляем коэффициент проскока по наиболее проникающим частицам :

$$K=10^{-\alpha \Delta P_{1xz}}$$

где  $\Delta P$ , - потери давления на фильтре при  $V_{\phi}=1$  см/с.

Марка фильтра	Поверхность фильтрации $F, \text{м}^2$	Наибольшая производительность $q, \text{м}^3/\text{с}$	Фильтро-материал	Размеры фильтра, мм
ДК-0,11	0,11	0,047	1 ступень Лавсан	176·159·270
ДК-0,24	0,24	0,97	II ступень	355·159·240
ДК-0,25	0,25	0,01	ФПП-15	160·160·30S
ДК-0,6	0,6	0,025	ФПП-156	
355·159·339				
ДК-0,8	0,785	0,33	ФПА-15	210·218·378
ДК-1,4	1,38	0,58	ФПА-15	350·350·300
ДК-4,5	4,50	0,19		500·645·350

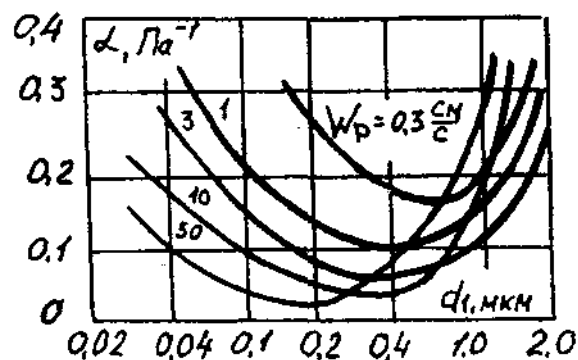


Рис.59. Размер наиболее проникающих через материал ФП частиц пыли в зависимости от скорости фильтрации.

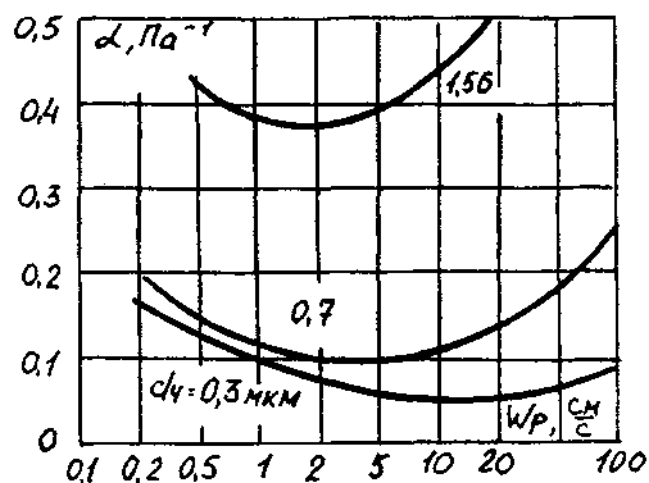


Рис. 60. Коэффициент фильтрующего действия.

16. Стандартное сопротивление фильтроматериала при  $V_{\phi} - 1$  см/с по допустимому коэффициенту проскока и найденному значению:

$$(\Delta P_1)_0 = - \lg K_{\text{доп}} / \alpha.$$

17. Число слоев фильтроматериала:

$$Z = (\Delta P_1)_0 \cdot \Delta P_1,$$

где  $\Delta P$ - стандартное сопротивление одного слоя, Па(табл.50).

18. Окончательное значение величины проскока  $K_0$  с учетом числа слоев фильтроматериала:

$$K_0 = 10^{-\alpha x \Delta P_1 x z}$$

19. Масса осадка на фильтре в единицу времени,  $\text{кг/с} \cdot \text{м}^2$ :

$$G_{oc} = Q/F \cdot C_2^{1 \cdot} \cdot (1 - K_0).$$

20. Срок службы фильтроматериала, ч,

$$\tau = G_{oc} / G_{удоп},$$

где  $G_{удоп}$  - удельная максимально допустимая масса осадка на ФП.

$$G_{удоп} = 50-100 \text{ г/м}^2 \text{ /59/}.$$

21. Повышение перепада давления  $\Delta P_2$  на фильтре при образовании осадка определяют из условия, что при  $V_\phi = 1 \text{ см/с}$ , за весь срок службы увеличение перепада давления не превышает 50 -100 Па. При скорости фильтрации  $V_\phi > 1 \text{ см/с}$  рост перепада давления можно определить по формуле:

$$\Delta P_0 = \Delta P_{01} \cdot V_\phi.$$

Тогда общее сопротивление фильтра тонкой очистки с учетом образования осадка, Па:

$$\Delta P_2 = \Delta P_\phi + \Delta P_0,$$

где  $\Delta P_\phi = \Delta P_1 \cdot z \cdot V_\phi$  - потери давления в рассчитанном фильтре тонкой очистки с числом слоев фильтроматериала  $z$  при скорости фильтрации  $V_\phi$ .

22. Эффективность очистки фильтром тонкой очистки:

$$\eta = 1 - K.$$

23. Суммарные потери давления, Па:

$$\Delta P_\Sigma = \Delta P + \Delta P_2.$$

24. Общая эффективность очистки комбинированным фильтром:

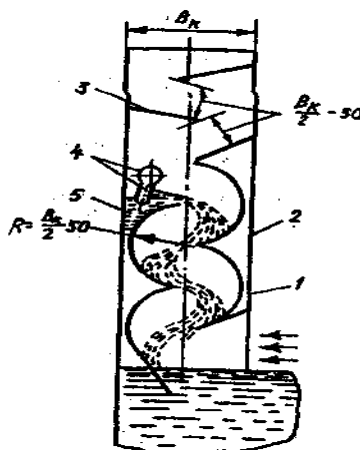
$$\eta_{об} = (C_{об} - C_2^{1 \cdot} \cdot K) / C_{об}.$$

**Пример**

### Расчет гидрофильтров

Гидрофильтры используются для очистки вентиляционного воздуха от красочного аэрозоля и паров растворителей. Конструкция гидрофильтра представлена на **рис.61**.

**Рис.61. Конструкция гидрофильтра**



Пропускная способность гидрофильтров по воздуху зависит от средней скорости движения воздуха в канале гидрофильтра, которая равна 5-6 м/с, и размеров проходного сечения канала, которые обычно имеют следующие размеры: длина канала 2,2; 2,3; и 4,2 м и ширина 0,8; 1,0; 1,2 м.

Эффективность очистки воздуха от красочного аэрозоля: [32]

$\zeta_a = 0,65 + 0,05 \cdot V$ , где  $V$  - скорость движения воздуха, м/с.

Масса  $\mu_{\text{п}}$  паров растворителей, которые выделяются в окружающую среду от камер, окраски после очистки вентиляционного воздуха, кг/ч:

$$\mu_{\text{п}} = k_1 \cdot (1 - \zeta_{\text{п}}) \cdot \mu,$$

где  $k_1$  - коэффициент, учитывающий, рассеивание паров растворителей в рабочем помещении,  $k_1 = 0,97-0,98$ ;  $\zeta_{\text{п}}$  -эффективность очистки воздуха от паров растворителей,  $\zeta_{\text{п}} = 0,30-0,35$ ;  $\mu$  - масса паров растворителей, выделяющихся при окраске и сушке изделий в камере, кг/ч.

Гидравлическое сопротивление воздушного канала фильтра, Па:

$$\Delta P = 16V^2$$

Удельный расход циркулирующей воды составляет 2-3 л на 1 м<sup>2</sup> воздуха, а количество свежей воды 1-2 % количества циркулирующей. Циркулирующая вода, очищается от примесей в сетчатых фильтрах с коксовой насадкой высотой 120-140 мм.

### Пример

В окрасочной камере производится окраска изделий пневматическим распылителем. Расход краски в смену  $m_{\text{см}} = 30$  кг. Количество растворителя в краске 60%. Количество очищаемого воздуха  $Q = 32000$  м<sup>3</sup>/ч. Доля краски, потерянной в виде аэрозоля  $\delta_1 = 30$  %, доля растворителя, выделившегося при нанесении покрытия  $\delta_2 = 25$  %, доля растворителя, выделившегося при сушке  $\delta_3 = 75$  %.

Определить: количество аэрозоля и паров, выделяющихся в воздух, а также подобрать средства очистки.

#### Порядок расчета:

1. Расход краски в час, кг/ч:

$$m = m_{\text{см}} / \tau = 30 / 8 = 3,75.$$

2. Количество растворителя, кг/ч:

$$m_{\text{р}} = m \cdot 0,6 = 3,75 \cdot 0,6 = 2,25.$$

3. Количество аэрозоля при окраске, кг/ч:

$$П_1 = m \cdot \delta_1 / 100 = 3,75 \cdot 30 / 100 = 1,125.$$

4. Количество паров при окраске, кг/ч:

$$П_2 = m_{\text{р}} \cdot \delta_2 / 100 = 2,25 \cdot 25 / 100 = 0,84.$$

5. Количество паров при сушке, кг/ч:

$$П_3 = m_{\text{р}} \cdot \delta_3 / 100 = 2,25 \cdot 75 / 100 = 1,68.$$

6. Принимаем для очистки воздуха от аэрозоля и парой гидрофильтр с S-образным воздухопромываемым каналом.

7. Необходимая площадь канала, м :

$$f_k = Q / V \cdot 3600 = 32000 / 5 \cdot 3600 = 1,8.$$

Принимаем гидрофильтр с площадью канала  $2,2 \times 0,8$  м = 1,76 м<sup>2</sup> , тогда:

$V = 32000 / 1,76 \cdot 3600 = 5,05$  м/с, что в пределах нормы.

8. Принимаем  $q = 2,5$  л/м<sup>2</sup>, тогда расход циркулирующей воды, м<sup>3</sup>/ч:

$$Q_{\text{воды}} = Q_{\text{возд}} \cdot q / 1000 = 32000 \cdot 2,5 / 1000 = 80$$

9. Эффективность очистки от аэрозоля:

$$\eta = 0,65 + 0,05 \cdot V = 0,65 + 0,05 \cdot 5,05 = 0,9.$$

10. Возврат краски в технологический процесс:



$$m_{\text{возвр}} = \Pi_1 \cdot \eta = 1,125 \cdot 0,9 = 1,01 \text{ кг/ч} = 8,08 \text{ кг/смену.}$$

### Расчет адсорберов

**Исходные данные для расчета:** поглощаемое вещество; количество очищаемого воздуха  $G$ , кг/ч; концентрация поглощаемого вещества на входе в адсорбер  $C$ , мг/м<sup>3</sup>; тип адсорбента; диаметр гранул  $d$ , мм, и средняя длина гранул  $l$ , мм, адсорбента; насыпная плотность адсорбента  $\rho_a$ , кг/м<sup>3</sup>; температура в адсорбенте  $t$ , °С; давление в адсорбенте  $P$ , Па; кинематическая вязкость газа  $\mu$ , м<sup>2</sup>/с; изотерма адсорбции поглощаемого вещества на поглотителе.

**Цель расчета:** определение необходимого количества адсорбента, размеров адсорбента, продолжительности процесса поглощения.

### Порядок расчета

1. По изотерме адсорбции поглощаемого вещества на поглотителе (рис.62 – 65) и заданной величине  $C_0$  находим статическую емкость адсорбента  $a_0$ , кг/м<sup>3</sup>.

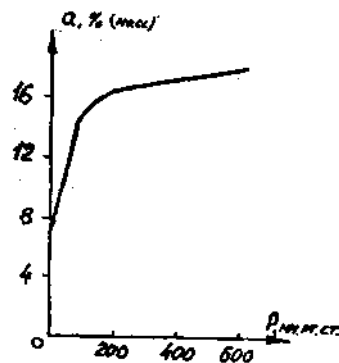


Рис.62.Изотерма адсорбции CO<sub>2</sub> на цеолите CaA при температуре 25°С

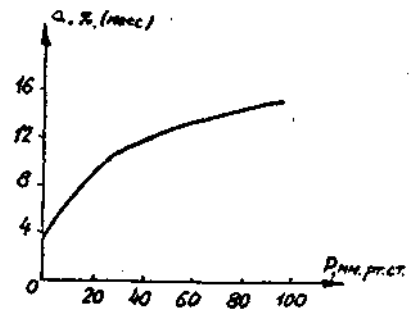


Рис.63.Изотерма адсорбции на цеолите CaA при температуре 20°С

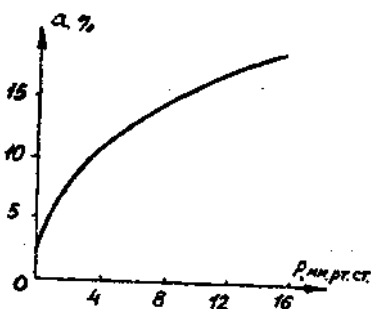


Рис.64.Изотерма адсорбции SO<sub>2</sub> на активном угле марки СКТ при температуре 20°С

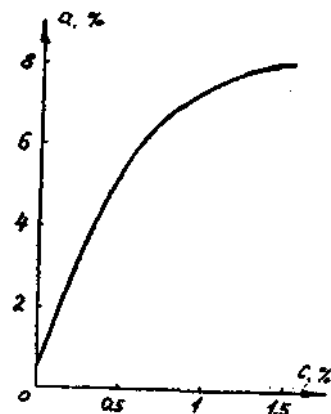


Рис.65.Изотерма адсорбции SO<sub>2</sub> на полукуксе при температуре 20°С

2. Весовое количество очищаемого воздуха, кг/с:

$$G_n = G \cdot p / 3600.$$

3. Масса адсорбента, кг:

$$m = K \cdot G_v \cdot C_0 \cdot \tau / a_0,$$

где  $K = 1,1 - 1,2$  - коэффициент запаса;

$\tau$  - продолжительность процесса очистки, ч.

4. Выбираем скорость потока газа  $v$  в адсорбере. Обычно, исходя из условия необходимого времени контакта газа с адсорбентом и минимальных гидравлических сопротивлений, скорость выбирается в пределах  $0,1 - 0,25$  м/с

5. Диаметр слоя адсорбента, м:

$$D_s = \sqrt{\frac{4 \cdot G_s}{\pi \cdot \rho \cdot v}}$$

6. Высота слоя адсорбента, м:

$$H_a = m \cdot v / G_v.$$

7. Пористость адсорбента:

$$\Pi = (p_k - p_n) / p_k,$$

где  $p_k$  - кажущаяся плотность адсорбента,  $p_k = 1,6 \cdot p_n$ , кг/м<sup>3</sup>, насыпная плотность адсорбента  $p_n$  принимается по табл.52.

Эквивалентный диаметр зерна адсорбента, мм:

$$d = 0,6 \cdot (d_1) / (d_2 + 1)$$

Число Рейнольдса:

$$Re = v d / \mu \cdot \Pi.$$

10. Коэффициент трения  $\chi$  находят в зависимости от  $Re$ .  
Если  $Re < 50$ ;  $\chi = 220 / Re$ ; если  $Re = 50 - 7200$ , то  $\chi = 11,6 / Re^{0,25}$

11. Коэффициент молекулярной диффузии, м<sup>2</sup>/с:

$$D = D_0 \cdot \left( \frac{T}{T_0} \right)^{3/2} \cdot \frac{P_0}{P},$$

где коэффициент  $D_0$  молекулярной диффузии при  $T = 273$  К атмосферном давлении  $P_0 = 9,8 \cdot 10^4$  Па (табл.53)

12. Диффузионный критерий Прандтля:

$$W = \mu / D.$$

13. Коэффициент массопередачи, м/с:

$$\beta = 0,833 \cdot Re^{0,47} \cdot W^{0,33} \cdot D / v, \text{ при } Re < 30;$$

$$\beta = 0,53 \cdot Re^{0,64} \cdot W^{0,33} \cdot D / d, \text{ при } Re \text{ от } 30 \text{ до } 150;$$

14. Удельная поверхность адсорбера, м<sup>2</sup> / м<sup>3</sup>

$$f = \frac{4 \cdot (1 - \Pi)}{d \cdot l} \cdot (d / 2 + l).$$

Таблица 52.

Адсорбер зёрен,мм	Сырьё или основа	Уд.поверхность м <sup>2</sup> /г	Насып.плотность г/см <sup>3</sup>	Размер
Угли:				
АГ-3	Каменный уголь, кокс	800-1000	0,44-0,46	1,5-1,7
АГ-5	Каменный уголь	800-1000	0,44-0,46	1,0-1,5
БАУ	Берёзовый или буковый		0,35	1,0-1,5
КАД	Каменный уголь		0,4-0,45	1,0-3,5
Силикагели:				
КСМ	Диоксид кремния	300-800	2,7-7,0	2,7-7,0
ШСМ	«-»	900	--	1,5-3,5
ШСМ	«-»	--	1,5-3,5	0,25-3,5

Таблица 53.

Система	Коэффициент молекулярной диффузии Д 10 <sup>-10</sup> м <sup>2</sup> /с
Воздух - двуокись серы	0,122
Воздух - двуокись углерода	0,136
Воздух - оксид углерода	0,211
Воздух - бензин А-72 (зимний)	6,1
Воздух - бензин Аи- 90 (летний)	6,2
Воздух - дизельное топливо	4,7

15. Продолжительность процесса адсорбции, ч /5,9 /:

а) если  $C_0$  находится в первой области изотермы адсорбции (зависимость выражается крутой прямой линией), то:

$$\tau_s = \left( \sqrt{H_s \cdot \Gamma / v} - b \cdot \sqrt{\Gamma / \beta \cdot f} \right)^2,$$

где  $\Gamma = a_0/C_0$  - безразмерный коэффициент Генри;  $b$  коэффициент, определяется по табл.54 в зависимости от отношения содержания поглощаемого вещества на выходе и входе в адсорбер;

б) если  $C_0$  находится во второй области изотермы адсорбции (зависимость выражается кривой, выпуклой по отношению к оси абсцисс), то:

$$\tau_s = \frac{a_0}{v \cdot C_0} \cdot \left\{ H_s - \frac{v}{\beta \cdot f} \cdot \left[ \frac{I}{A} \cdot \ln \left( \frac{C_s}{C_k} - 1 \right) \right] + \ln \left( \frac{C_s}{C_k} - 1 \right) \right\},$$

где  $A = C_0/y_1$ ;  $y_1 = a_\infty/2$ ,  $a_\infty$  - количество вредного вещества максимально поглощаемое адсорбентом при заданной температуре (определяется по изотерме адсорбции), г/кг;

в) если  $C_0$  находится в третьей области изотермы адсорбции (адсорбция достигает предела - область насыщения остается постоянной и не зависит от содержания вредного вещества в воздушном потоке), то:

$$\tau_s = \frac{a_0}{v \cdot C_0} \cdot \left[ H_s - \frac{v}{\beta \cdot f} \cdot \ln \left( \frac{C_s}{C_k} - 1 \right) \right]$$

Таблица 54.

Ск/С <sub>0</sub>	b	Ск/С <sub>0</sub>	b	Ск/С <sub>0</sub>	b
0,005	1,84	0,1	0,94	0,5	0,07
0,01	1,67	0,2	0,63	0,6	-0,1
0,03	1,35	0,3	0,42	0,8	-0,27
0,05	1,19	0,4	0,23	0,9	-0,68

16. Концентрация вредного вещества на выходе из адсорбера, мг/м<sup>3</sup>:

$$C_k = C_0(1 - \eta)$$

#### Пример:

Определить размеры и время защитного действия адсорбера для улавливания SO<sub>2</sub> в системе кондиционирования воздуха электростанционного крана в течение рабочей смены - 8 часов. Количество очищаемого воздуха  $G = 500$  кг/ч. Начальная концентрация  $C_0$  в воздухе 600 мг/м<sup>3</sup>, конечная  $C_k = 3$  мг/м<sup>3</sup>. Поглощение SO<sub>2</sub> происходит при температуре воздуха 20 °С и атмосферном давлении. Плотность воздуха  $\rho_v = 1,2$  кг/м<sup>3</sup>, вязкость  $\mu = 1,32 \cdot 10^{-5}$ . В качестве адсорбента используется уголь марки КАД с диаметром гранул

$d = 3$  мм и длиной  $l = 5$  мм. Насыпная плотность адсорбента  $\rho_n = 400$  кг/м<sup>3</sup> (табл. 59), кажущаяся плотность адсорбента  $\rho_k = 600$  кг/м<sup>3</sup>.

#### Порядок расчета

1. По изотерме адсорбции SO<sub>2</sub> на угле марки КАД при температуре 20 °С и заданной величине  $C_0 = 600$  мг/м<sup>3</sup> /6/ находим статическую емкость адсорбента  $a_0 = 42$  г/кг или  $a_0 = 0,042 \cdot 400 = 16,8$  кг/м<sup>3</sup>.
2. Весовое количество очищаемого воздуха, кг/с:  
 $G_v = 500 \cdot 1,2 / 3600 = 0,165$ .
3. Масса адсорбента, кг:  
 $m = 1,2 \cdot 0,165 \cdot 600 \cdot 10^{-6} \cdot 8 \cdot 3600 / 16,8 = 0,02$ .
4. Диаметр слоя адсорбента, м:

$$D_s = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,165}{3,14 \cdot 1,2 \cdot 0,25}} = 0,84$$

5. Высота слоя адсорбента, м :

$$H_a = 0,205 \cdot 0,25 / 0,165 = 0,311$$

6. Пористость слоя адсорбента:

$$\Pi = (600-400)/600 = 0,33.$$

7. Эквивалентный диаметр адсорбента, м :

$$d_s = 0,6 \cdot \frac{3 \cdot 5}{3/2 + 5} = 1,4 \cdot 10^{-6}.$$

8. Число Рейнольдса:

$$Re = (0,25 \cdot 1,4 \cdot 10^{-6}) / (1,32 \cdot 10^{-5} \cdot 0,33) = 0,08.$$

9. Коэффициент молекулярной диффузии, м<sup>2</sup>/с:

$$D = 0,122 \cdot 10^{-4} \cdot (293/297)^{3/2} = 0,13 \cdot 10^{-4}.$$

10. Диффузный критерий Прандтля:

$$P = 1,32 \cdot 10^{-5} / 0,13 \cdot 10^{-4} = 1.$$

11. Коэффициент массопередачи, м/с:

$$\beta = (0,833 \cdot 10^{0,47} \cdot 1^{0,33} \cdot 0,13 \cdot 10^{-4}) / 1,4 \cdot 10^{-6} = 0,17.$$

12. Удельная поверхность адсорбента, м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>:

$$f = 4(1-0,33) / 15 \cdot 10^{-6} \cdot 6,5 \cdot 10^{-3} = 1161.$$

13. Безразмерный коэффициент Генри:

$$\Gamma = 42/600 = 0,07.$$

14. Отношение концентрации  $C_k$  на выходе и входе в адсорбер  $C_0$ :

$$n = 3/600 = 0,005.$$

15. Коэффициент  $b$  в зависимости от отношения  $C_k/C_0$  (табл.61):

$$b = 1,84.$$

16. Так как  $C_0$  находится в третьей части изотермы адсорбции, то время защитного действия адсорбера, ч:

$$\tau_s = \frac{16,8}{0,25 \cdot 600 \cdot 10^{-6} \cdot 3600} \cdot \left[ 0,311 - \frac{0,25}{0,17 \cdot 1161} \cdot \ln(200-1) \right] \approx 9,5.$$

### Литература.

1. ДБН А.2.2-1-95 Проектирование. Состав и содержание материалов оценки воздействия на окружающую среду (ОВОЗ) при проектировании и строительстве предприятий, зданий и сооружений. Основные положения проектирования. К.: 1996.
2. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів. 24 липня 1996 р №379/1404, Київ, 1996.
3. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» зі змінами від 1991-2003 рр.
4. Правила охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами від 25 березня 1999р №465.
5. Клименко Л.П. Технологія. Посібник для ВНЗ – Одеса, Сімферополь, 2002, - 544 с.
6. Промислова екологія: Навч.посіб./С.О. Апостолук, В.С. Джиги рей, А.С. Апостолук та ін. – К.: Знання, 2005. – 474 с.
7. Долина Л.Ф. Сточные воды предприятий черной металлургии и способы их очистки. Справочное пособие. – Днепропетровск – Amsterdam.: MILIEUKONTAKT OOST – EUROPA, 1998. – 44 с.
8. Долина Л.Ф. Сточные воды предприятий черной промышленности и методы их очистки. Справочное пособие. – Днепропетровск.: УЭА «Зелений світ», - 2000. – 45 с.
9. Экология мегаполиса. Экологические аспекты промышленного развития Днепропетровска. Под общ.ред. Куличенко Н.Н. – Днепропетровск.: НМА – пресс, 2002. – 368 с.
10. Долина Л.Ф. Мониторинг окружающей среды и инженерные методы охраны биосферы. Монография. Часть 1. Основы мониторинга – Днепропетровск.: Континент, 2005. – 208 с.
11. Долина Л.Ф. Мониторинг окружающей среды и инженерные методы охраны биосферы. Монография. Часть 2. Проектирование мониторинга. – Днепропетровск.: Континент, 2004. – 105 с.
12. Проценко С.Б., Ковальчук В.А. Глосарій з моніторингу та охорони довкілля. 6000 слів і термінологічних словосполучень: Навчальний посібник. – Рівне: ВАТ «Рівненська друкарня», 2003. – 496 с.
13. Будівельне матеріалознавство: Підручник. Колектив авторів: Кривенко П.В. та інш. – К.: ТОВ УВПК «ЕксОб», 2004. – 707 с.
14. Правила приймання стічних вод підприємств у комунальні та відомчі системи каналізації населених пунктів України. Введено в дію з 6 травня 2002 року.
15. Справочник проектировщика. Канализация населённых мест и промышленных предприятий. / Лихачев Н.И., Ларин Н.Н. и др.; Под общ.ред. Самохина В.Н. – 2-е изд., - М.: Строиздат, 1981. – 639 с.
16. Долина Л.Ф. Проектирование и расчёт сооружений и установок для механической очистки производственных сточных вод. (Учебное пособие). – Днепропетровск: Континент, - 2004. – 93 с.

17. Долина Л.Ф. Проектирование и расчёт сооружений и установок для физико-химической очистки производственных сточных вод. (Учебное пособие). – Днепропетровск: Континент, - 2004. – 127 с: ил 23.
18. Экология города: Учебник. Под общ.ред.проф. Стольберга Ф.В. – К.: Лабра, 2000. – 464 с.
19. Кучерявий В.П. Урбоекологія. – Львів: Світ, 1999. – 360 с.
20. Бурлаков Г.С. Основы технологии керамики и искусственных пористых заполнителей. Учебник для вузов. – М.: Высш.школа, 1972.
21. Долина Л.Ф. Реакторы для очистки сточных вод: Учебное пособие – Днепропетровск.: Стандарт, 2001. – 82 с.
22. Ковальчук В.А. Очистка стічних вод. – Рівне: ВАТ «Рівненська друкарня», - 2002. – 622 с.
23. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод: За загаль.редак.проф. Запольського А.К. – К.: Лібра, 2000. – 552 с.
24. Очистка производственных сточных вод: Учеб.пособ.для вузов / Яковлев С.В., Каралин Я.А и др. Под ред. Яковлева С.В. – М.: Стройиздат, 1985. – 335с.
25. Теоретические основы очистки вод. / Куликов Н.Н., Найманов А.Я. и др.. – Маскеева : ДГАСА, 1999 с. – 277 с.
26. Яковлев С.В., Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод / Ученик для вузов: - М.: АСВ, 2002 – 704 с.
27. Долина Л.Ф. Проектирование станций очистки сточных вод населенного пункта / Учебное пособие : - Днепропетровск.: Стандарт, 2002 – 144 с.
28. Долина Л.Ф. Нове методи и оборудование для обеззараживания сточных и природных вод. – Днепропетровск.: Континент, 2003. – 218с.
29. Долина Л.Ф. Современная технология и сооружения для очистки нефтесодержащих сточных вод : Монографія. – Днепропетровск : Континент, 2005. – 296с.
30. Чуянов Г.Г. Обезвоживание, пылеулавливание и охрана окружающей среды : Ученик для вузов. – М.: Недра, 1987. – 260 с.
31. Охрана окружающей среды и экологическая безопасность на железнодорожном транспорте : Учебное пособие. / Под ред.проф. Зубарева Н.И., Шараповой Н.А. – М.: УМК МПС России, 1999. – 592с.
32. Промышленное производство и защита окружающей среды: Учебное пособие: В 2ч. Ч. 1. Атмосфера, её состояние и защита / Горбунова Л.Н., Кондрасенко В.Я. и др.; Под ред. Никитина К.Д. – Красноярск : ИПК КГТУ, 2000. – 319с.
33. Елшин Н.М. Строителю об охране окружающей среды – М.: Стройиздат, 1986 – 351с.
34. Смирнов В.Н., Кожевников В.С., Гаврилов Г.М. Охрана окружающей среды при проектировании городов. Л.: Стройиздат, 1981.

35. Тищенко Н.Ф. Охрана атмосферного воздуха. Расчёт содержания вредных веществ и их распределение в воздухе : Справочник. – М.: Химия, 1991.
36. Шевцов К.К. Охрана окружающей природной среды в строительстве. – М.: Высшая школа, 1994.
37. Бобровников Н.А. Защита окружающей среды от пыли на транспорте (при погрузочно-разгрузочных работах) – М: Транспорт, 1984.
38. Удельные показатели образования вредных веществ, выделяющихся в атмосферу от основных видов технологического оборудования предприятий машиностроения и военно-промышленного комплекса. – Харьков, 1997.



## Приложение 1.

### Пылеочистное оборудование, применяемое на предприятиях по переработке щебня (данные Гипротранспути).

Способ очистки	Тип пылеочистного оборудования	Эффективность очистки, %
Мокрый способ	Скоростной промыватель СНОТ.....	80-90
	Гидравлический пылеуловитель типа ПВМ...	97-99
Сухой способ	Циклон ЦН – 15 НИИОГАЗ.	80-85
	Циклон – СЦН-40.....	85-90
	Рукавный фильтр Типа СМЦ-166 Б	
	СМЦ-101.....	99 и выше

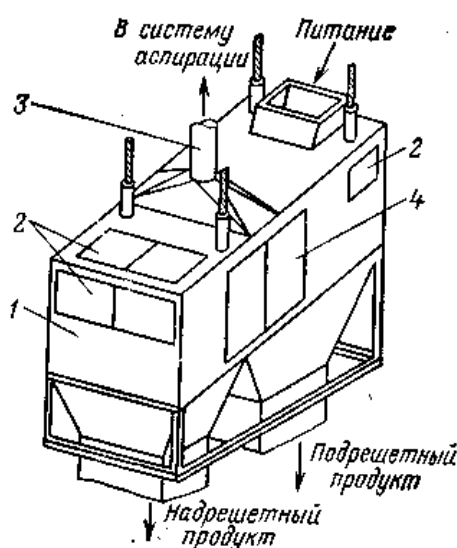
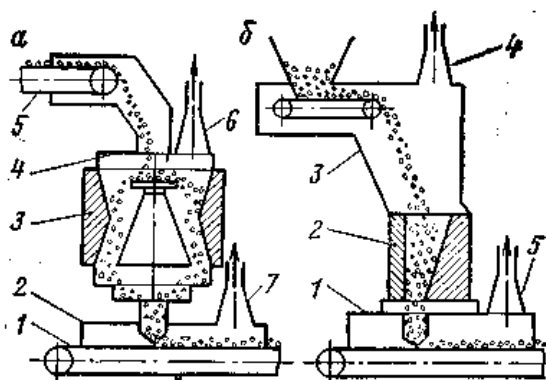


Рис. 104. Полное укрытие вибрационных грохотов

Рис. 105. Укрытие дробилок:  
а — конусной; б — щековой



## Приложение 2.

### Средние эксплуатационные эффективности аппаратов газоочистки и пылеулавливания

Аппарат, установка	Эффективность улавливания, %	
	твердых и жидких частиц	газообразных и парообразных компонентов
1	2	3
Отходящие газы котельных		
Батарейные циклоны типа БЦ-2	85	—
Батарейные циклоны на базе секции СЭЦ-24	93	—
Дымосос-пылеуловитель ДП-10	90	—

1	2	3
Батарейные циклоны типа ЦБР-1507	93—95	—
Электрофилтры	97—99	—
Центробежные скрубберы ПС-ВТИ	88—90	—
Мокропрутковые золоуловители ВТИ	90—92	—
Жалюзийные золоуловители	75—85	—
Групповые циклоны ЦН-15	85—90	—
<i>Аспирационный воздух от оборудования механической обработки материалов</i>		
<i>а) Аппараты и установки сухой очистки</i>		
Пылеосадочные камеры	45—55	—
Циклоны ЦН-15	80—85	—
Циклоны ЦН-11	81—87	—
Циклоны СДК-ЦН-33, СК-ЦН-34	85—93	—
Конические циклоны СИОТ	60—70	—
Циклоны ВЦНИИОТ с обратным конусом	60—70	—
Циклоны Клайпедского ОЭКДМ Гидродрев-прома	60—90	—
Групповые циклоны	85—90	—
Батарейные циклоны БЦ	82—90	—
Рукавные фильтры	99 и выше	—
Сетчатые фильтры (для волокнистой пыли)	93—96	—
Индивидуальные агрегаты типа ЗИЛ-900, АЭ212, ПА212	95	—
Циклоны ЛИОТ	70—80	—
<i>б) Аппараты и установки мокрой очистки</i>		
Циклоны с водяной пленкой ЦВП и СИОТ	80—90	—
Полые скрубберы	70—89	—
Пенные аппараты	75—90	—
Центробежный скруббер ЦС-ВТИ	88—93	—
Низконапорные пылеуловители КМП	92—96	—
Мокрые пылеуловители с внутренней циркуляцией типа ПВМ, ПВ-2	97—99	—
Трубы Вентури типа ГВПВ	90—94	—

1	2	3
<b>Вентиляционные выбросы при химической и электрохимической обработке</b>		
Очистка от аэрозоля хромового ангидрида:		
насадочные скрубберы с горизонтальным ходом газа	90—95	—
волокнистые туманоуловители ФВГ-Т	96—99	—
гидрофильтр ГПИ «Сантехпроект»	87—90	—
пенные аппараты ППП-И	80—90	—
турбулентно-контактные адсорберы типа ТКА	80—90	—
жалюзийный сепаратор	85—90	—
Очистка от паров кислот и щелочей:		
пенные аппараты	—	80—85
абсорбционно-фильтрующий скруббер НИИОГаза	95—98	50—60
форсуночно-насадочные скрубберы	—	55—60
Двухступенчатые абсорбционные аппараты:		
пары соляной кислоты	—	93—95
пары аммиака	—	20—30
пары хлора	—	12—15
<b>Вентиляционные выбросы при окраске изделий</b>		
Гидрофильтры:		
форсуночные	86—92	—
каскадные	90—92	20—30
барботажно-вихревые	94—97	40—50
Установки рекуперации растворителей (адсорбция твердыми поглотителями)	—	92—95
Установки термического окисления паров растворителей	—	92—97
Установки каталитического окисления паров растворителей	—	95—99

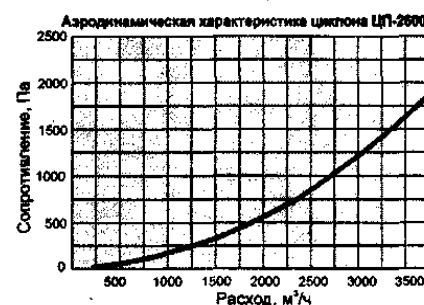
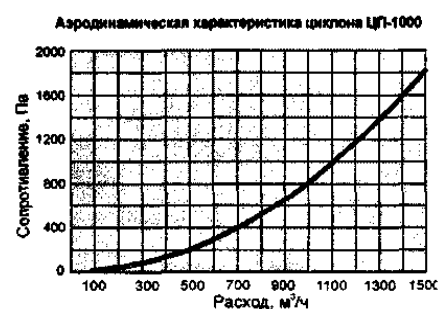
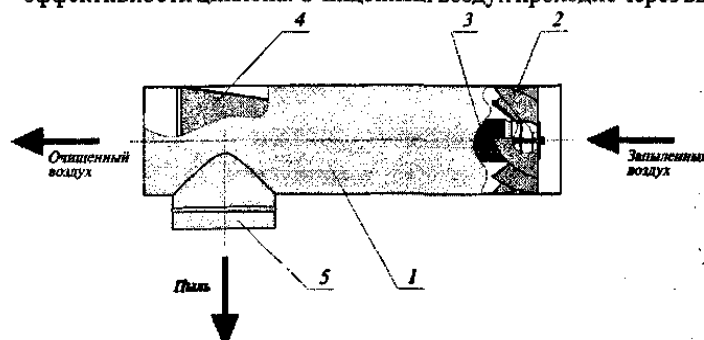
# ЦИКЛОН ПРЯМОТОЧНЫЙ ЦП-1000/2500

## НАЗНАЧЕНИЕ:

Циклон ЦП-1000/2500 предназначен для очистки газовоздушных сред от взвешенных частиц неслипающейся среднedisперсной и крупнодисперсной пыли. Рекомендуется использовать циклон ЦП для предварительной очистки воздуха и устанавливать в вентиляционных системах промышленных предприятий перед фильтрами тонкой очистки.

## ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ:

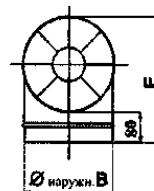
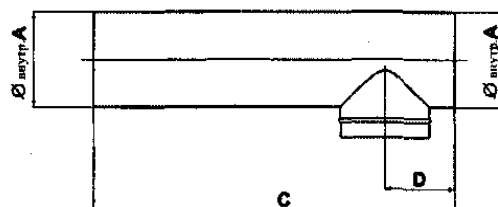
Запыленный воздух подается на вход циклона. Проходя через розетку (2) газопылевой поток закручивается, при этом частицы пыли под действием центробежных сил сепарируются к внутренней поверхности корпуса циклона (1) и удаляются через патрубок (5). Жалюзийная решетка поз.3 осуществляет дополнительную очистку воздуха от пыли, что обеспечивает увеличение эффективности циклона. Очищенный воздух проходит через выходной конус (4).



## ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:

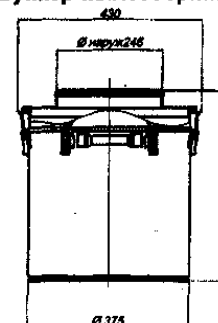
Рекомендуемая производительность - ЦП-1000 - 1000 м³/ч  
 Рекомендуемая производительность - ЦП-2500 - 2500 м³/ч  
 При работе на кварцевой пыли циклон ЦП-1000 при расходе воздуха 1000 м³/ч (ЦП-2500 при расходе воздуха 2500 м³/ч) имеет эффективность очистки 80-88% для среднedisперсной пыли и до 99% для крупнодисперсной пыли.  
 Максимальный размер пропускаемых частиц-5..8 мкм.  
 Масса циклона ЦП-1000 6,7 кг; ЦП-2500 15,7 кг.

## ГАБАРИТНЫЕ РАЗМЕРЫ:



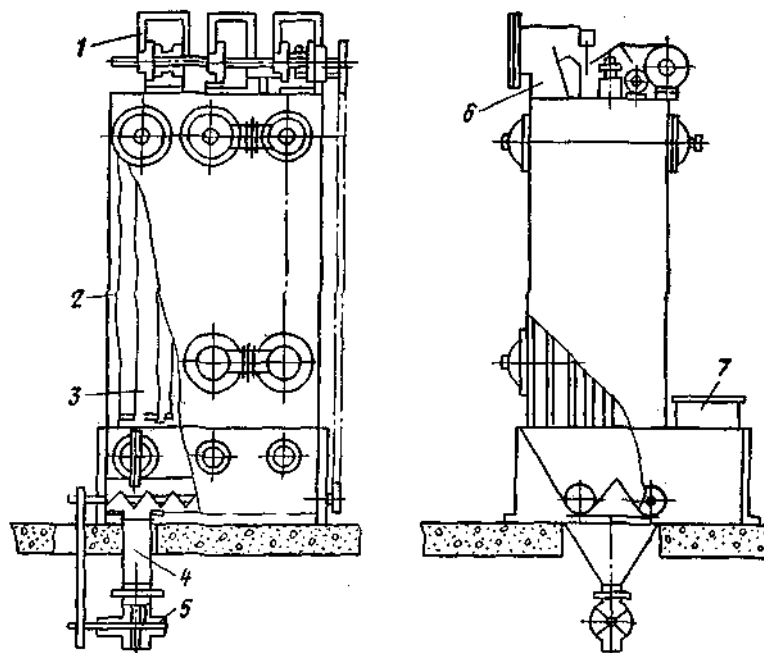
Модель	A	B	C	D	E
ЦП-1000	161	156	655	120	224
ЦП-2500	251	246	1000	195	334

## Бункер-пылесборник

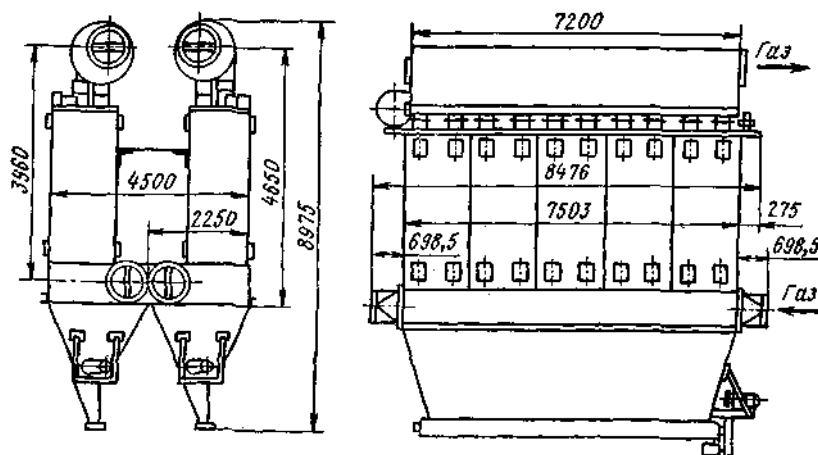


**Рис.3. Фильтр рукавный ФВ:**

1- клапанные коробки для выхода воздуха; 2- корпус; 3 - рукава диаметром 135 мм; 4 - сборник пыли; 5 - выпускной клапан; 6 - выходной патрубок; 7 - входной патрубок.



**Рис.4. Рукавный фильтр РФГ-МС десятисекционный, сдвоенный.**



### Техническая характеристика фильтров типа ФР.

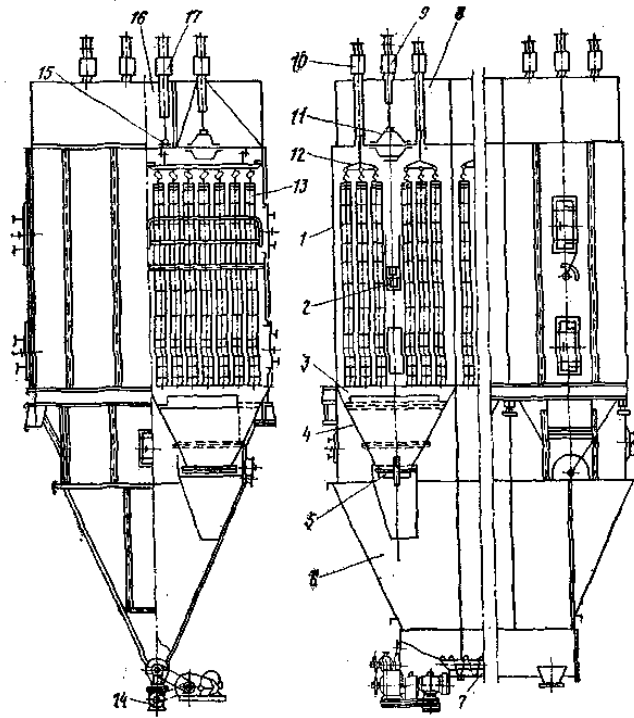
Показатели	ФВ-30	ФВ-45	ФВ-60	ФВ-90
Число секций...	2	3	4	6
Число рукавов в фильтре...	36	54	72	108
Размеры фильтра, мм:				
Длина.....	1435	1970	2440	3525
Ширина....	1580	1580	1580	1580
Высота.....	4100	4100	4100	4100
Фильтрующая поверхность..	30	45	60	90
Размеры рукавов, мм:				
Диаметр.....	135	135	135	135
Длина.....	2090	2090	2090	2090
Производительность, м³/с...	1,25-1,5	1,85-2,25	2,5-3,0	3,75-4,5
Гидравлическое сопротивление, Н/м²....	---	800-900	---	---
Масса, кг	900	1200	1460	2000

### Техническая характеристика рукавных фильтров типа РФГ-УМС по данным завода «Строймашина».

Показатели	Одинарный фильтр				Сдвоенный фильтр			
Число секций...	4	6	8	10	8	12	16	20
Число рукавов в фильтре...	56	84	112	140	112	168	224	280
Фильтрующ. поверхность, м	112	168	224	280	224	336	448	560
Размеры фильтра, мм:								
Длина.....	3003	4583	6003	7503	3003	4503	6003	7503
Ширина....	2250	2250	2250	2250	4500	4500	4500	4500
Размеры рукавов, мм:								
Диаметр.....	220	220	220	220	220	220	220	220
Длина.....	3100	3100	3100	3100	3100	3100	3100	3100
Производительность, м³/с...	3,12	4,68	6,20	7,80	6,20	9,36	12,4	15,6
Масса аппарата, кг	6920	9600	12300	15400	14212	19792	25344	31575

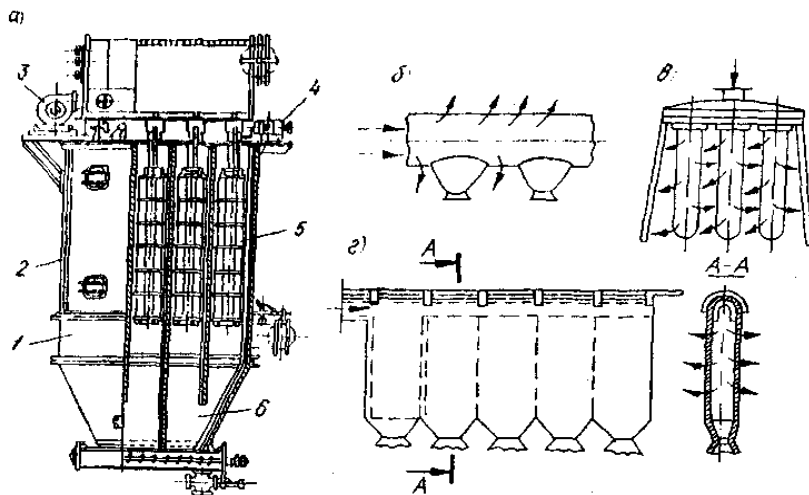
**Рис 5. Рукавный фильтр УРФМ:**

1 — корпус; 2 — площадка для обслуживания рукавов; 3 — распределительная решетка; 4 — бункер; 5, 14 — шлюзовой затвор; 6 — общий бункер фильтра; 7 — шнек; 8 — коллектор чистого газа; 9 — пневмоцилиндр для управления клапаном; 10 — шток пневмоцилиндра встряхивания; 11 — клапан; 12 — рама подвеса рукавов; 13 — рукав; 15 — клапан продувочного воздуха; 16 — коллектор продувочного воздуха; 17 — пневмоцилиндр для управления продувочным клапаном.



**Рис.6.Тканевые фильтры:**

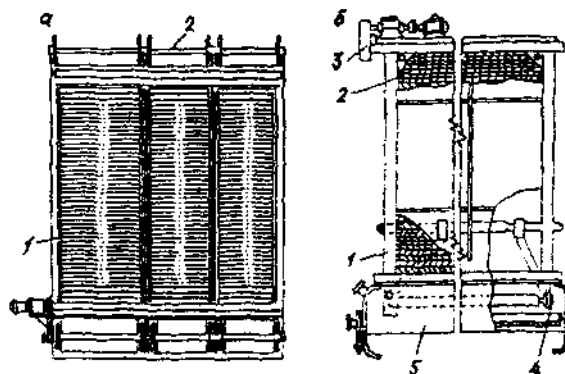
а - рукавный РСРГ-УМС; 1 - воздухораспределительный короб бункера; 2-корпус фильтра; 3 - вентилятор; 4 - механизм встряхивания рукавов; 5 - матерчатые рукава; 6 - сборный бункер; б, в, г - бескаркасные ( б - горизонтальный, в - вертикальный, г- ВНИИ - 1 ).



В гидравлических фильтрах осаждение пыли происходит с помощью масла и воды. Кассеты фильтров состоят из гофрированных сеток, смачиваемых веретенным маслом. Частицы пыли, проходя с воздухом через отверстия, которые образуются сетками, задерживаются на их смоченной поверхности; для очистки фильтров используют 10 %-ный раствор каустической соды, нагретый до температуры 60-70 °С. После промывки фильтры снова покрывают маслом.

**Рис.7. Фильтры волокнистые, сетчатые:**

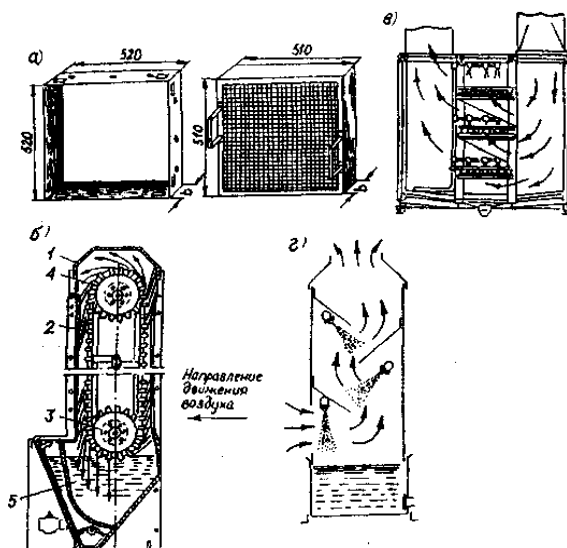
а - рулонный волокнистый ФРУ; 1 - металлический корпус; 2 - катушка-барабан; б - секция сетчатого фильтра ФяВ; 1 - корпус, 2 - бесконечная сетка; 3 - привод сеток; 4 - натяжное устройство, 5 - бак для масла.



Иногда кассету заполняют фарфоровыми или медными кольцами, покрытыми веретенным или вазелиновым маслом. После загрязнения кольца из кассеты промывают в соловом растворе при температуре 60-70 °С, просушивают, снова покрывают маслом, затем используют для очистки выбросов.

**Рис.8. Гидравлические фильтры:**

а - масляный фильтр Е. В. Рекка; б - самоочищающийся масляный фильтр; 1 - каркас; 2 - шторы; 3 - зубчатые колеса; 4 - пластинчатые цепи; 5 - масляная ванна; в, г - водяные фильтры.

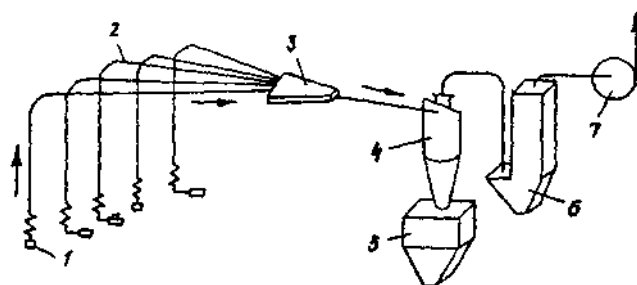




Для очистки воздуха с большим содержанием пыли' применяют гидроциклоны с водяной пленкой; Гидроциклон представляет собой вертикальный цилиндр, к которому снизу по трубе тангенциально подводится загрязненный воздух, а очищенный - выходит сверху через специальный патрубок. В отличие от сухих циклонов, которые не разрешается устанавливать внутри помещений из-за возможности возгорания пыли, гидроциклоны располагают внутри помещения, обычно со стороны нагнетания вентилятора.

**Рис.9. Схема транспортной сети групповой пневматической пылестружкоотсасывающей установки:**

- 1 - пылестружкоприемник; 2 - трубопровод; 3 - коллектор; 4 -стружкоотделитель (циклон); 5 - стружкосборник; 6 - пылеотделитель(фильтр); 7 – вентилятор.



### Инструментальные методы измерения концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе

Наименование загрязнителя, метод	Диапазон измеряемых концентраций, мг/м <sup>3</sup>	Предел обнаружения и анализ и руемом ооъеме. пробы, мкг	Сущность метода	Макс. граница суммарной погрешности, %	Необходимые приборы и реактивы
1	2	3	4	5	6

Твердые частицы(гравиметрический)	0,1 —100	100	Гравиметрическое (весовое) определение массы пыли(дисперсной фазы аэрозолей), уловленной из измеренного объема исследуемого воздуха	5	1. Электроаспиратор. 2. Аналитические аэрозольные фильтры (АФА-ВП). 3. Аналитические весы типа АДВ-200. 4. Аллонжи аэрозольного типа ИРА. 5. Эксикатор. 6. Пинцет аналитический. 7. Серная кислота
Диоксид углерода (хромато-графический)	50—1000	0,1	Газовая хроматография	25	1. Хроматограф с детектором по теплопроводности. 2. Аспирационное устройство. 3. Иглы инъекционные к шприцам типа «Рекорд». 4. Пипетки газовые. 5. Шприц медицинский.
Оксид и диоксид нитрата (фотометрический)	1-6,7	0,3	Окисление оксида азота до диоксида с помощью трубок с окислителем и дальнейшем определении диоксида азота по образованию азокрасителя с реактивом Грисса-илосвая (смесь (1,1) раствора 0,5 г сульфатитовой кислоты в 150 мл 30%-ной уксусной кислоты и раствора 0,2 г а-нафталмина в 20 мл воды и 150 мл 5%-ной уксусной кислоты)	20	1. Спектрофотометр или электрофотокolorиметр. 2. Аспирационное устройство. 3. Натрий азотисто-кислый. 4. Калия иодид. 5. Натрий серно-кислый. 6. Кислота уксусная. 7. а-нафтиламин. 8. Сульфаниловая кислота. 9. Реактив Грисса-Илосвая. 10. Калий марганцево-кислый. I

#### Продолжение дополнения

Сернистый ангидрид а) нефтелометрический	3—20	5	Окисление сернистого ангидрида хлорноватистым калием до серной кислоты и взаимодействию последней с хлоридом бария с образованием взвеси	40	1. Калий серно-кислый. 2. Калий хлорноватистый. 3. Перекись водорода. 4. Барий хлористый. 5. Глицерин. 6. Этиловый спирт. 7. Концентрированная соляная кислота. 8. Аспирационное устройство.
б) фотометрический	0,6—20	0,3	Образование окрашенного продукта в результате реакции сернистого ангидрида с	20	1. Фотоэлектроколориметр или спектрофотометр. 2. Натрий сернокислый. 3. Натрий хлористый. 4. Ртуть двуххлористая. 5. Окись

			фуксинформальдегидным реактивом		ртути, б. Соляная кислота. 7. Едкий натр. 8. Фуксин основной. 9. Этиловый спирт.
Пятиоксид ванадия(фото метрический)	0,05—5	5	Окисление ванадии до пяти-оксида ванадия и последующим его определением по реакции образования желтой фосфорновольфрамовованадиевой кислоты	25	1. Спектрофотометр или фотоэлектроколориметр. Фильтры АФА-ВП. 3. Муфельная печь. 4. Водяная баня. 5. Ванадат аммония. 6. Фосфорная кислота. 7. Едкий натр. 8. Натрий вольфрамово-кислый. 9. Азотная кислота. 10. Серная кислота.
Масляный аэрозоль(фото метрический)	0,15—5,0	5,0	Реакция масляного ангидрида с солянокислым гидроксиламином и взаимодействии образующейся гидроксамовой кислоты с хлорным железом	25	1. Фотоэлектроколориметр или спектрофотометр. 2. Поглотительные приборы Зайцева. 3. Аспирационное устройство. 4. Гидроксиламина гидроклорид. 5. Этиловый спирт. 6. Железо треххлористое.
Свинец а)полярографический	0,005-0,05	0,01	Капельное восстановление свинца на ртутном катоде на фоне электролита, состоящего из раствора уксуснокислого аммония, соляной кислоты и воды, взятых в определенном соотношении	20	1. Полярограф ПУ или ППТ. 2. Аспирационное устройство. 3. Муфельная печь. 4. Термопара. 5. Водяная баня. 6. Аммоний уксусно-кислый. 7. Соляная кислота. 8. Серная кислота. 9. Азотная кислота. 10. Спирт этиловый. 11. Азот газообразный. 12. Ртуть.

#### Продолжение дополнения

б)атомно-абсорбционный			Измерение поглощения света атомами свинца, образующимися при введении анализируемого	25	1. Лампа. 2. Ацетилен. 3. Воздушный компрессор. 4. Свинец. 5. Азотная кислота. 6. Соляная кислота. 7. Фтористоводородная кислота. 8. Натрий углекислый. 9. Калий
------------------------	--	--	--	----	--

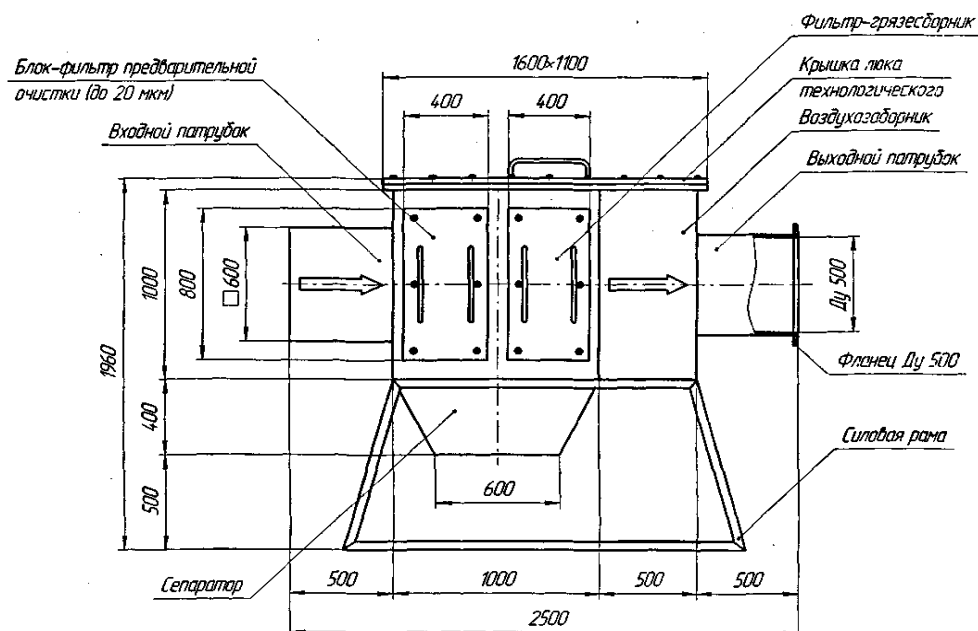
			раствора в пламя смеси ацетилена с воздухом ( $\lambda = 283,3$ нм)		углекислый.
в)эмиссионный спектральный			В качестве аналитической выбрана линия свинца $\lambda = 283,3$ нм. Элемент сравнения - висмут ( $\lambda = 289,79$ нм).	---	1. Спектрограф ИСП-28. 2. Микрофотометр МФ-2.
Марганец и его соединения(фотометрический)	0,08-1,0	1,0	Окисление солей марганца до марганцевой кислоты персульфатом аммония в присутствии нитрата серебра как катализатора	20	1. Спектрофотометр или электрофотокolorиметр. 2. Электровстряхиватель. 3. Муфельная печь. 4. Аспирационное устройство. 5. Песочная баня. 6. Водяная баня. 7. Серебро азотно-кислое. 8. Щавелевая кислота. 9. Персульфат аммония.
Медь (фотометрический)	1,0-5,0	10,0	Реакция взаимодействия меди с диэтилдитнокарбанатом натрия в щелочной среде	25	1. Спектрофотометр. 2. Аспирационное устройство. 3. Спирт этиловый. 4. Диэтилдитнокарбанат натрия. 5. Хлороформ. 6. Серная кислота. 7. Азотная кислота. 8. Вода бидистиллят. 9. Фильтры АФА-ВП.

#### Продолжение дополнения

Фтороводород, фториды(Фотометрический)	0,005-0,1	1	Метод основан на том, что ион фтора в щелочной среде вызывает ослабление окраски соединения, образующегося при взаимодействии соединений фтора с эриохромцианином и хлористым цирконием	25	1. Электрофотокolorиметр. 2. Аспирационное устройство. 3. Едкий натр. 4. Эриохромцианин-Р. 5. Хлороокись циркония. 6. Соляная кислота. 7. Этиловый спирт.
--	-----------	---	---	----	---

Сажа (фотометрический)	0,05-0,5	3,0	Взаимодействие сажи с дихлорэтаном с образованием коллоидного раствора	25	1. Фотоэлектроколориметр. 2. Мембранные фильтры. 3. Фильтры АФА-ВЦ, 4. Аспирационное устройство. 5. Дихлорэтан. 6. Вазелиновое масло.
Аэрозоль серной кислоты (турбидиметрический)	0,5-25	4,0	Реакция сернистой кислоты с хлоридом бария с образованием осадка	25	1. Фотоэлектрический колориметр-нефелометр. 2. рН-метр. 3. Аспирационное устройство. 4. Фильтры АФА-ВП. 5. Калий сернокислый. 6. Барий хлористый. 7. Спирт этиловый. 8. Этиленгликоль. 9. Соляная кислота.

### Система очистки Воздуха ФСВО-ПрП-001



**Технико-эксплуатационные и характеристики и габаритные размеры - под заказ.**

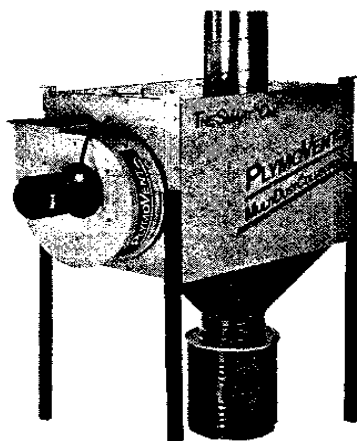
### САМООЧИЩАЮЩИЙСЯ ФИЛЬТР КАССЕТНОГО ТИПА ПРОИЗВОДСТВА ШВЕДСКОЙ ФИРМЫ PLYMOVENT (The Smart One).

Самоочищающийся кассетный фильтр S - 1 представляет собой уникальнны высокоэффективный фильтр, разработанный специально для фильтрации воздуха загрязненного различного рода сухой пылью, сварочным аэрозолем, пылью при дроблении и прочими сухими загрязнителями воздуха в строительной индустрии, при производстве пластмасс, в химической промышленности, в шахтах, в пищевой и в ряде других отраслей

промышленности. Кассета фильтра очищается автоматически, без остановки процесса фильтрации. Очистка увеличивает срок службы кассеты и снижает до минимума техническое обслуживание.

#### **Преимущества:**

- \* Высокоэффективная система очистки фильтра сжатым воздухом.
- \* Благодаря гофрированной стабилизирующей конструкции кассеты достигается равномерное распределение потока и увеличение степени очистки фильтруемого воздуха.
- \* Автоматическая очистка кассеты фильтра обеспечивает постоянный максимальный объем забора воздуха.
- \* Эффективность очистки достигает 99,9%.
- \* Возможность ручной очистки фильтра в любой момент времени, вне зависимости от наполнения фильтра.
- \* Таймер для регулировки частоты автоматической очистки кассеты.
- \* Световой индикатор загрязненности фильтра.
- \* Простота монтажа.
- \* Компактная конструкция.
- \* Вентилятор может устанавливаться как непосредственно на фильтре, так и отдельно от него (заказывается отдельно).
- \* Минимум технического обслуживания.

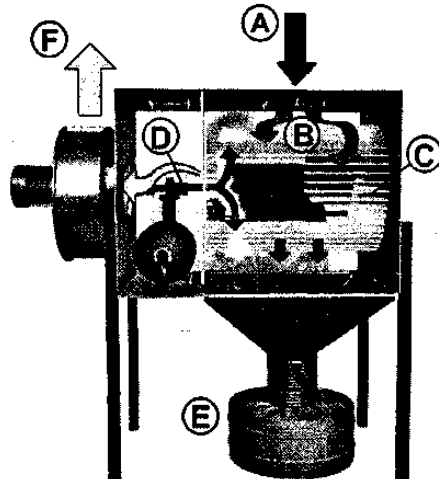


Максимальная производительность м <sup>3</sup> / час	Номинальная производительность м <sup>3</sup> / час	Площадь фильтр. Кассеты, м <sup>2</sup>	Уровень Шума, Дб	Вес, кг
1400	1000-1200	20	< 70	103

#### **Принцип работы:**

Поступающий воздушный пылевой поток проходит через входной патрубок (А) и через защитный кожух кассеты (В). Пыль оседает на поверхности кассеты (С). Очистка кассеты от пыли происходит, вследствие подачи короткого импульса сжатого воздуха через клапан (D) во

внутреннюю полость кассеты. Поток сжатого воздуха равномерно распределяется вдоль всей поверхности кассеты с помощью специального стабилизатора (Ram-Air). Очистка может производиться как при включенном вытяжном вентиляторе, так и при выключенном. Частицы пыли после продувки импульсом сжатого воздуха сбрасываются вниз и собираются в пылесборнике (E). Отфильтрованный воздух проходит через чистую область модуля и через вентилятор поступает либо в помещение, либо в систему вентиляции.



Система "Smart One " может быть использована только для фильтрации сухих видов пыли и загрязняющих веществ вырабатываемых при технологических процессах. Максимальная температура воздушно-пылевого потока 80°C (176 F).

**На в ч а л ь н е   в и д а н н я**

***Долина Леонід Федорович***

**Т е х н о л о г і я   д л я   б у д і в е л ь н и к і в**

**Ч а с т и н а   1**

**На в ч а л ь н и й   п о с і б н и к**

**Російською мовою**

**Комп'ютерна верстка : Горобцов Ю.О.  
Кочедеря В.С.**

Книга друкується в авторській редакції

Підписано до друку 04.07.2006. Формат 60X84 1/16  
Папір офс. Умовн. друк. арк. 15,37 Тираж 300 прим.  
Замовлення № 737.

Видавництво «Континент», Дніпропетровськ.