

МОСКОВСКИЙ
АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ИНСТИТУТ
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Кафедра инженерной экологии

Утверждаю
Зав. кафедрой профессор
Ю.В. Трофименко
"14" сентября 2004 г.

Н.А.ЕВСТИГНЕЕВА

МЕТОДЫ ОЧИСТКИ
АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА
ОТ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ
(ПАРО- И ГАЗООБРАЗНЫХ)

Методические указания
к лабораторной работе по курсу
"Безопасность жизнедеятельности"

МОСКВА 2004

РК
БИБЛИОТЕКИ
МАДИ (ГТУ)

Керзюв
Р.С.
78.2

Керзюв

Настоящие методические указания разработаны на кафедре инженерной экологии МАДИ (ГТУ). Содержат современные данные о загрязнении атмосферного воздуха и методах его очистки. Изложена методика проведения лабораторной работы на установке БЖ 7/1, обеспечивающей возможность демонстрации различных систем очистки воздуха от паро- и газообразных загрязнителей и изучения их эффективности.

Методические указания предназначены для студентов всех специальностей МАДИ (ГТУ).

ВВЕДЕНИЕ

Проблема защиты окружающей природной среды от загрязнений – одна из важнейших задач современности. Выбросы промышленных предприятий, энергетических систем и транспорта в атмосферу в настоящее время достигли таких размеров, что в ряде регионов, особенно в крупных промышленных центрах, оказывают негативное влияние на окружающую природную среду. В связи с этим возрастает роль инженерной экологии по разработке и совершенствованию технических средств защиты атмосферы от загрязнений. При этом следует отметить, что основной путь снижения загрязнения атмосферы – это внедрение малоотходных производств и технологических процессов, в том числе повышение эффективности уже действующих установок очистки воздуха.

Цель настоящей лабораторной работы – закрепление на практике теоретических знаний, полученных студентами при изучении курса «Безопасность жизнедеятельности», о методах очистки атмосферного воздуха от паро- и газообразных загрязнителей.

В ходе выполнения работы перед студентами ставятся следующие задачи:

- изучение различных систем очистки воздуха от паро- и газообразных загрязнителей;
- исследование качества воздуха до и после очистки при помощи индикаторных трубок;
- оценка эффективности различных систем очистки воздуха от паро- и газообразных загрязнителей.

Методические указания соответствуют программе курса «Безопасность жизнедеятельности» МАДИ (ГТУ) и предназначены для студентов всех специальностей.

1. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Загрязнение атмосферного воздуха

Загрязнение атмосферного воздуха – это любое изменение его устойчивых (фоновых) параметров, оказывающее негативное воздействие на человека и окружающую среду. Загрязнение атмосферного воздуха имеет *естественное* и *искусственное* происхождение (рис. 1).

Естественное загрязнение воздуха вызвано природными процессами. На долю естественных источников в конце XX века приходилось 75% общего загрязнения атмосферы. *Искусственное загрязнение* происходит в результате деятельности человека. По масштабам распространения оно значительно превосходит природное загрязнение. Главными и наиболее опасными источниками загрязнения атмосферы являются *промышленные, транспортные и бытовые выбросы*. Они способствуют поступлению в атмосферный воздух инородных, не свойственных естественным условиям газов и веществ. Среди отраслей промышленности особо токсичные выбросы в атмосферу дают предприятия химической, нефтеперерабатывающей, черной и цветной металлургии, деревообрабатывающей, целлюлозно-бумажной, производства строительных материалов и др.

По агрегатному состоянию выбросы загрязняющих веществ в атмосферу классифицируются на:

- 1) *газообразные* (диоксид серы, оксиды азота, оксид углерода, углеводороды и др.); они составляют около 90% от общей массы выбрасываемых в атмосферу загрязняющих веществ;
- 2) *жидкие* (кислоты, щелочи, растворы солей и др.);
- 3) *твердые* (органическая и неорганическая пыль, сажа, смолистые вещества и прочие);
- 4) *смешанные*.

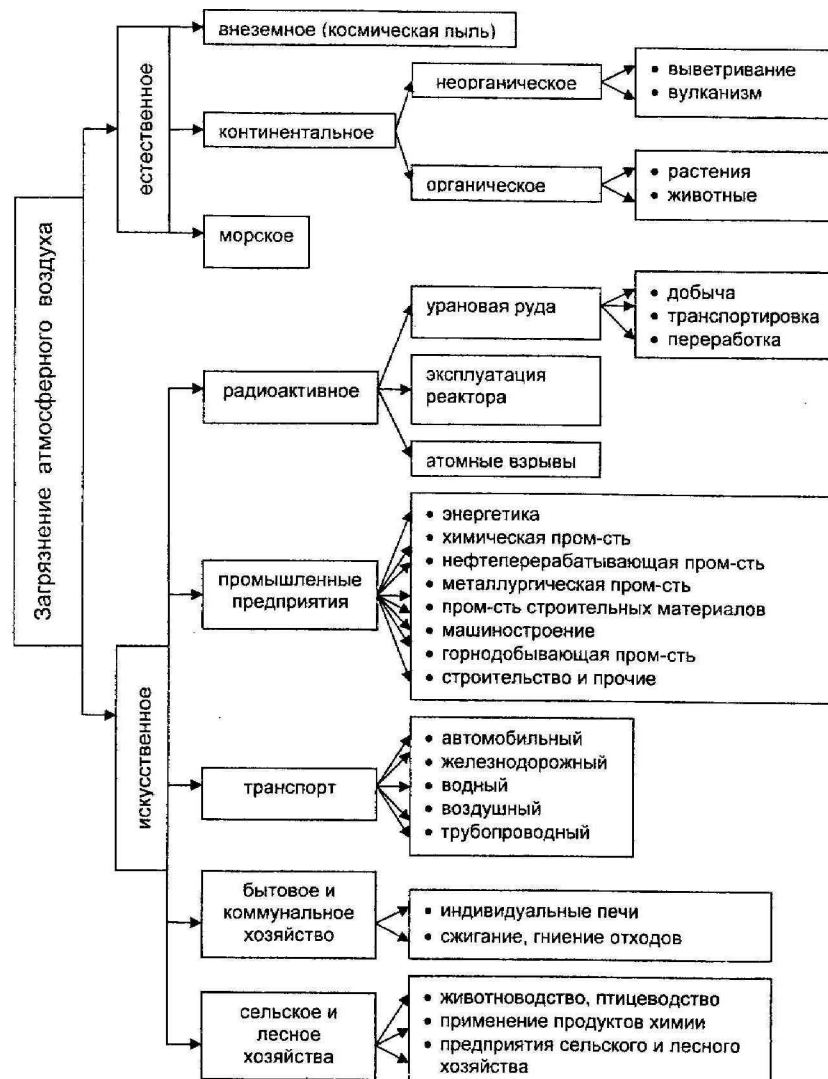


Рис. 1. Классификация источников загрязнения атмосферного воздуха

Главные загрязнители атмосферного воздуха, образующиеся в процессе производственной деятельности человека – диоксид серы (SO₂), оксиды азота (NO_x), оксид углерода (CO) и твердые

частицы. На их долю приходится 98% в общем объеме выбросов вредных веществ. Помимо них в атмосферу попадает много других очень опасных токсичных веществ: соединения *тяжелых металлов*; *углеводороды*; *альдегиды*; *фтористый водород*; *сероводород*; *аммиак*; *токсичные летучие растворители* (бензины, спирты, эфиры) и др.

Многие вещества обладают *эффектом суммации*, то есть их смеси оказывают более токсичное действие на живые организмы, чем отдельные компоненты. Это можно сказать о смесях *аммиака и сероводорода, аммиака и формальдегида, ацетона и фенола, диоксида азота и диоксида серы, диоксида азота и формальдегида* и многих других.

Атмосфера обладает способностью к самоочищению. Оно происходит за счет рассеивания загрязняющих веществ воздушными потоками, вымывания их осадками или в результате их гравитационного оседания. Способность атмосферы к самоочищению долгое время эксплуатировалась человечеством бездумно. Однако она не безгранична. Процесс загрязнения резко прогрессирует, и становится очевидным, что возможности природных систем самоочищения атмосферы серьезно подорваны. И, как закономерный результат, в атмосфере стали проявляться весьма опасные экологические последствия глобального характера. По этой причине атмосферный воздух уже не в полной мере выполняет свои защитные, терморегулирующие и жизнеобеспечивающие экологические функции.

1.2. Показатели (нормативы) качества атмосферного воздуха

Научной основой управления качеством атмосферного воздуха в РФ являются предельно допустимые концентрации (ПДК) – такое

содержание вредных веществ в воздухе, которое при постоянном контакте или при воздействии за определенный промежуток времени практически не влияет на здоровье человека и не вызывает неблагоприятных последствий у его потомства.

В настоящее время нормативы ПДК вредных веществ установлены примерно для 600 химических соединений при их изолированном действии и дана характеристика комбинированного действия 56 смесей, включающих до четырех веществ. Для более чем полутора тысяч загрязнителей определены ориентировочно безопасные уровни воздействия (ОБУВ).

Для загрязнения в атмосферном воздухе населенных пунктов существуют две нормативные величины: *максимальная разовая ПДК* – определяет рефлекторные реакции человека, которые могут возникнуть при кратковременном воздействии; *среднесуточная ПДК*, определяющая реакции, возникающие при длительном поступлении вредных веществ в организм.

Согласно закону «Об охране атмосферного воздуха», управление его качеством производится на основе установления технических нормативов *предельно допустимых выбросов (ПДВ)*. Они устанавливаются для каждого источника загрязнения таким образом, чтобы в атмосфере, с учетом выбросов других источников, создавалась концентрация, не превышающая ПДК данного вещества.

Обеспечение установленных ПДВ достигается за счет различных мероприятий: замены применяемых токсичных веществ на нетоксичные или малотоксичные; герметизации аппаратуры и коммуникаций; проведении технологических процессов в вакууме. *Наиболее эффективно загрязнение воздушной среды уменьшают устройства очистки технологических и вентиляционных выбросов от вредных веществ.*

1.3. Защита атмосферы от промышленных загрязнителей

Промышленные источники газовых выбросов делятся на *организованные* и *неорганизованные*. Организованные выбросы поступают в атмосферу через специально сооруженные газоходы, трубы и т.д.; неорганизованные – в результате неудовлетворительной работы оборудования, штатных ситуаций.

Как правило, на каждом предприятии для отвода газов и пылеудаления используют высокие (200 – 350 м) *трубы*. Их применение позволяет распределять загрязняющие вещества на большие территории, снижая тем самым их общую концентрацию в атмосфере. Так, из трубы высотой 200 м пылегазовые потоки расходятся на 20 км, а из трубы высотой 250 м – на 75 км. Максимальная концентрация каждого токсичного соединения в приземном слое не должна превышать максимальной разовой предельно допустимой концентрации (ПДК_{м.р.}) каждого вещества. Рассеяние вредных веществ в атмосфере не является эффективным средством ее защиты от загрязнений, это вынужденное мероприятие, однако к нему до сих пор прибегают, чтобы снизить концентрацию токсичных соединений, например диоксида серы и оксидов азота, в районе их выбросов.

Основное внимание при проектировании промышленных предприятий или реконструкции действующих должно уделяться возможно более полной очистке выбросов в атмосферу от токсичных компонентов. Практически полная очистка достигается редко, так как затраты на очистные сооружения обычно составляют 15-20% от капитальных вложений на технологическую установку. Причем выделение каждой примеси тем сложнее, чем ниже ее содержание в смеси.

Промышленные агрегаты, особенно вновь вводимые, должны быть оборудованы *системами пылеулавливания* и *газоочистки*.

Для обезвреживания аэрозолей используют *сухие, мокрые и электрические методы* (рис.2–5). В основе сухих аппаратов

(циклоны, пылесадительные камеры, тканевые фильтры) лежат гравитационные, инерционные и центробежные механизмы осаждения или фильтрационные механизмы. В *мокрых пылеуловителях* (ротоциклоны, скрубберы, промывные башни, пенные аппараты) осуществляется контакт запыленных газов с жидкостью. В *электрофильтрах* отделение загрязненных частиц происходит на осадительных электродах.

Выбор того или иного типа оборудования зависит от вида пыли, ее физико-химических свойств, дисперсного состава и общего содержания в воздухе.

Наиболее распространенным видом оборудования, действие которого основано на инерционном *пылеотделении* сухим способом, является *циклон* (рис.2).

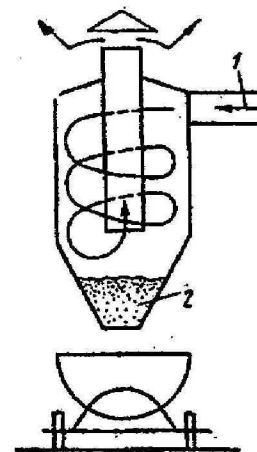


Рис.2. Схема циклона

1 — загрязненный поток;
2 — уловленная взвесь

Газовый поток вводится в циклон по касательной к внутренней поверхности корпуса и совершает вращательно-поступательное движение вдоль корпуса к бункеру. Под действием центробежной силы частицы пыли отделяются к периферии, а затем под действием силы тяжести осаждаются в сборник пыли (бункер), откуда периодически удаляются. Очищенный газ через расположенную в центре корпуса трубу уходит из циклона. Для повышения эффективности работы применяют групповые (батареи) циклоны.

Широко применяются для улавливания *частиц пыли* и *капельной жидкости* различные *фильтры*. Процесс фильтрования состоит в задержке частиц загрязнителей на пористых перегородках при движении через них дисперсных систем. Классификация

фильтров основана на типе фильтровой перегородки, конструкции фильтра и его назначении, тонкости очистки.

Наибольшее распространение в промышленности для сухой очистки газовых выбросов получили *тканевые фильтры*, пыль в которых задерживается на ворсистом материале (лавсане, иглопробивном войлоке). Основной механизм фильтрования – это ситовый, при котором фильтрует не только и не столько фильтровальная ткань, сколько пылевой слой, образующийся на ее поверхности. Такие фильтры можно регенерировать сбросом пыли с поверхности ткани – встряхиванием и обратной продувкой. Наибольшее распространение получили *тканевые рукавные фильтры* (рис.3).

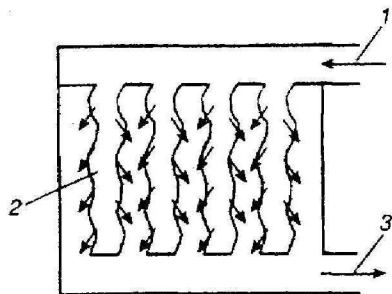


Рис.3. Схема тканевого фильтра

- 1 — загрязненный поток;
- 2 — рукава из вористой ткани;
- 3 — очищенный поток

Широкое применение имеют аппараты мокрой очистки газов, так как они характеризуются высокой эффективностью очистки высокотемпературных газов, улавливания пожаровзрывоопасных пылей и в тех случаях, когда наряду с отделением пыли требуется улавливать токсичные газовые примеси и пары. Однако они имеют ряд недостатков, которые ограничивают область их применения: образование в процессе очистки шлама, что требует специальных систем для его переработки; вынос влаги в атмосферу и образование отложений в отводящих газоходах при охлаждении газов до температуры точки росы; необходимость создания оборотных систем подачи воды в пылеуловитель.

Один из распространенных аппаратов этого типа – *ротоциклон* (рис.4), в котором газопылевая смесь под давлением, создаваемым вентилятором, вихревым потоком проходит через слой воды. Тяжелые частицы пыли задерживаются водой и осаждаются в нижнюю часть ротоциклона, откуда затем удаляются, а очищенный поток уходит в атмосферу.

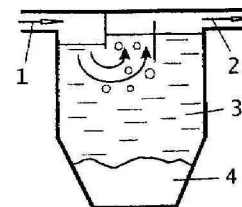


Рис.4. Схема ротоциклона

- 1 — загрязненный поток;
- 2 — очищенный поток;
- 3 — вода;
- 4 — уловленная взвесь

Наиболее совершенным видом очистки газов от взвешенных в них частиц пыли и тумана являются *электрофильтры* (рис.5).

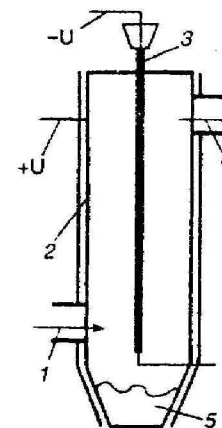


Рис.5. Схема электрического фильтра (дана для одного элемента цилиндрического фильтра);

- 1 — загрязненный поток;
- 2 — осадительный (цилиндрический) электрод;
- 3 — коронирующий электрод;
- 4 — очищенный поток;
- 5 — взвесь;
- + u — электрический потенциал положительного заряда;
- u — электрический потенциал отрицательного заряда

Широкое применение они нашли в металлургии и теплоэнергетике, использующей угольное топливо. Процесс очистки основан на ударной ионизации газа в зоне коронирующего разряда, передаче зарядов ионов частицам загрязнителей (ионы адсорбируются на

поверхности аэрозольных частиц) и осаждении последних на коронирующем и осадительном электродах. Учитывая, что в воздухе и дымовых газах подвижность отрицательных ионов выше, чем положительных, электрофилтры обычно делают с короной отрицательной полярности. Время зарядки аэрозольных частиц измеряется долями секунды. Движение заряженных частиц к осадительному электроду происходит под действием аэродинамических сил и силы взаимодействия электрического поля и заряда частицы. Путем встряхивания электродов пыль удаляется в бункер, жидкая фаза загрязнений стекает.

Этот способ очистки имеет серьезный недостаток – сложное электрическое хозяйство, опасность очень высоких напряжений (на электроды подается постоянное напряжение от 14 до 100 кВ), что требует специально подготовленного обслуживающего персонала. Поэтому его применяют на крупных промышленных объектах и при наличии больших объемов отходящего и сильно загрязненного газа.

Очистка выбросов от вредных паро- и газообразных загрязнителей подразумевает отделение или превращение в безвредное соединение загрязняющего вещества, поступающего от промышленного источника. Существует несколько методов выделения из отходящих газов газообразных и парообразных токсичных веществ:

- абсорбционные, • каталитические,
- адсорбционные, • конденсационные,
- термические, • компримирования.

Выбор метода определяется параметрами газового потока и концентрацией загрязняющих веществ.

Абсорбционные методы. Абсорбция (от лат. *absorbeo* – поглощаю) – поглощение веществ из растворов или газов всем объемом другого вещества (твердого тела или жидкости) – абсорбента. Решающим условием для применения метода является растворимость паров или газов в абсорбенте. Поглощаемое вещество перемещается из газа в направлении

градиента концентрации. Абсорбент может быть высокоселективным к определяемому компоненту и инертным ко всем остальным. На скорость абсорбции воздействуют главным образом давление и температура. С ростом давления и снижением температуры скорость абсорбции увеличивается.

Основным абсорбционным оборудованием являются *беспосадочные распылители, абсорберы, абсорбционные колонны с насадкой, скрубберы*. Схема абсорбера приведена на рис. 6.

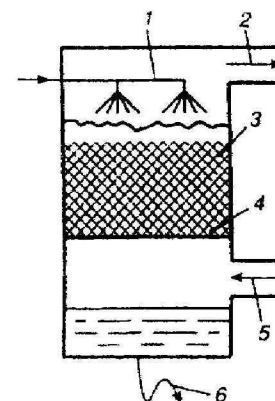


Рис. 6. Схема абсорбера

- 1 — абсорбент;
- 2 — очищенный поток;
- 3 — насадка;
- 4 — сетка;
- 5 — загрязненный поток;
- 6 — выброс в канализацию

Выделяют *физическую абсорбцию* и *хемосорбцию*. Для *физической абсорбции* применяют воду и органические растворители, не вступающие в реакцию с извлекаемым газом, их водные растворы. Так, для удаления из технологических выбросов аммиака, хлоро- и фтороводорода, паров кислот и щелочей целесообразно применять в качестве абсорбента *воду*.

При *хемосорбции* в качестве абсорбента используют водные растворы солей и щелочей, органические вещества и водные суспензии различных веществ. Метод применяют для загрязнителей, не растворимых или плохо растворимых в воде. Работа хемосорберов основана на поглощении газов и паров жидкими или твердыми поглотителями с образованием малорастворимых или малолетучих химических соединений.

Хемосорбция – один из распространенных методов очистки отходящих газов от оксидов азота и *паров кислот*. Эффективность очистки от оксидов азота составляет 17...86%, от паров кислот – 95%.

Абсорбционные методы применяют для очистки:

- газов от *диоксида серы* SO_2 на заводах по производству серной кислоты;
- газов от *сероводорода* H_2S , который содержится как примесь в природном газе и нефтяных, коксовых газах;
- газов, содержащих *оксиды азота* NO_x , образующиеся в процессах нефтеперегонки, при сжигании топлива. Для абсорбции оксидов азота используют воду, растворы щелочей и селективные сорбенты, кислоты и окислители;
- газов от *фторсодержащих соединений*. Фторсодержащие газы выделяются при электролитическом производстве алюминия и при переработке природных фосфатов в фосфорные удобрения. Они содержат фторид водорода HF и тетрафторид кремния SiF_4 . Для абсорбции фтористых газов можно использовать воду, водные растворы щелочей, солей;
- отходящих газов и вентиляционных выбросов, содержащих *хлор, хлороводород, хлорорганические вещества*. Эти вещества характерны для производств по выпуску хлора и щелочей методом электролиза поваренной соли, получения металлического магния, получения соляной кислоты и хлорсодержащих неорганических и органических веществ. Для абсорбции хлора и хлорсодержащих веществ используют воду, водные растворы щелочей и органических веществ, органические растворители;
- газов от *оксида углерода* CO , образующегося при неполном сгорании углеродсодержащих веществ. Он входит в состав газов, выделяющихся в процессе выплавки и переработки черных и цветных металлов, выхлопных газов двигателей внутреннего

сгорания и т.д. Для очистки газов от оксида углерода используют абсорбцию или промывку газа жидким азотом, водно-аммиачным раствором закисных солей ацетата, карбоната меди.

Адсорбционные методы. *Адсорбция* (от лат. *ad* – на; *при* и *sorbeo* – поглощаю) – поглощение вещества из газовой или жидкой среды поверхностным слоем твердого тела (адсорбента). Используют для очистки газов с *невысоким содержанием газообразных и парообразных примесей* – не более 2...5 мг/м³. Различают *физическую* и *химическую адсорбцию*.

Методы основаны на способности некоторых тонкодисперсных твердых тел (*адсорбентов*) селективно извлекать и концентрировать на своей поверхности отдельные компоненты газовой смеси. Адсорбционные методы в отличие от абсорбционных позволяют проводить очистку газов *при повышенных температурах*. При использовании методов достигается высокая степень очистки, однако *невозможно очищать запыленные газы*.

В качестве адсорбентов (поглотителей) применяют вещества, имеющие большую площадь поверхности на единицу массы (удельную поверхность). К основным промышленным адсорбентам относятся *активированный уголь*¹, *силикагель*², *алюмогель*³, *глинозем*⁴.

Наиболее широкое применение в качестве адсорбента получил *активированный уголь* (удельная поверхность 105...106 м²/кг). Он является одним из немногих веществ, которые можно использовать для очистки влажных газов. Особенностью угля

¹ *Активированный (активный) уголь* – пористое тело, получаемое из ископаемых или древесных углей удалением смолистых веществ, а также обугливанием полимеров.

² *Силикагель* – микропористое тело, получаемое прокаливанием геля поликремниевой кислоты, состоит из SiO_2 .

³ *Алюмогель* – микропористое тело, получают высушиванием геля гидроксида алюминия, активный оксид алюминия.

⁴ *Глинозем* – оксид алюминия Al_2O_3 , бесцветные, нерастворимые в воде кристаллы. Получают из бокситов, нефелинов, каолина.

является то, что наряду с газом, который нужно уловить, адсорбируются и другие примеси.

Процессы очистки проводят в адсорберах периодического или непрерывного действия. Конструктивно адсорберы выполняют в виде емкостей, заполненных пористым адсорбентом, через который фильтруется поток очищаемого газа (рис.7). Адсорберы применяют для очистки воздуха от паров растворителей, эфира, ацетона, различных углеводородов и т.п.

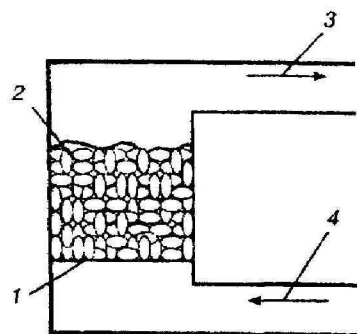


Рис.7. Схема адсорбера
1 — сетка;
2 — адсорбент;
3 — очищенный поток;
4 — загрязненный поток

Адсорбционная способность адсорбента тем выше, чем меньше его температура. Это используется в работе адсорбера и при их регенерации. Методы адсорбции имеют не только экологическое, но и экономическое значение, поскольку позволяют возвращать в производство значительные объемы паров летучих растворителей.

Термические методы применяются для обезвреживания газов от легкоокисляемых токсичных, а также дурнопахнущих примесей. Методы основаны на окислении обезвреживаемых компонентов кислородом. Они применимы для обеззараживания практически любых паров и газов, продукты окисления которых менее токсичны, чем исходные вещества.

Различают следующие схемы: прямое сжигание; термическое дожигание.

Прямое сжигание возможно в тех случаях, когда очищаемые газы обладают значительной энергией, достаточной для поддержания горения (концентрация их постоянна и превышает пределы воспламенения). Метод основан на сжигании горючих примесей в факельных горелках. Так нейтрализуют циановодород в вертикально направленных факелах на нефтехимических заводах.

Термическое дожигание находит применение в том случае, когда очищаемые газы имеют высокую температуру (900 – 1200°С), но не содержат достаточно кислорода или когда концентрация горючих веществ незначительна и недостаточна для поддержания горения. В первом случае процесс термического дожигания проводят в камере с подачей свежего воздуха (дожигание оксида углерода и углеводородов); во втором – при подаче дополнительно природного газа.

Каталитические методы очистки основаны на химических превращениях токсичных компонентов в нетоксичные на поверхности твердых катализаторов – материалов, ускоряющих протекание реакций или делающих их возможными при значительно более низких температурах (250-400°С). Очистке подвергаются газы, не содержащие пыли и катализаторных ядов.

В качестве катализаторов используют прежде всего благородные металлы – платину, палладий в виде тонкослойных напылений на металлические или керамические носители, кроме того применяют медь, диоксид титана, пентаоксид ванадия и т.д. Применяют также некоторые природные материалы (бокситы, цеолиты).

Очищаемый газ пропускают через слой катализатора, где на поверхности катализатора протекают экзотермические окислительные реакции, при этом температура газов может повыситься с 250 – 400°С до 500°С. Методы используют для очистки газов от оксидов азота, серы, углерода и органических примесей. Их проводят в реакторах различной конструкции.

Каталитические нейтрализаторы используют для очистки выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания от оксидов азота, оксида углерода и углеводородов.

Метод конденсации. В основе данного метода лежит явление уменьшения давления насыщенного пара растворителя при понижении температуры. Смесь паров растворителя с воздухом предварительно охлаждают в теплообменнике, а затем конденсируют. Необходимость охлаждения при конденсации значительно снижает экономическую эффективность этого метода очистки.

Метод компримирования основан на тех же принципах, что и метод конденсации, но применительно к парам растворителей, находящихся под избыточным давлением.

Сложный состав выбросов большинства производств, высокие концентрации токсичных компонентов предусматривают многоступенчатые схемы очистки, комбинацию разных методов.

Наиболее распространены при очистке газов абсорбционные и адсорбционные методы.

2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

2.1. Лабораторная установка БЖ 7/1

2.1.1. Устройство и принцип работы

Установка обеспечивает возможность демонстрации различных систем очистки воздуха от газообразных примесей и изучения методов оценки качества воздуха. Схема установки приведена на *рис.8.*

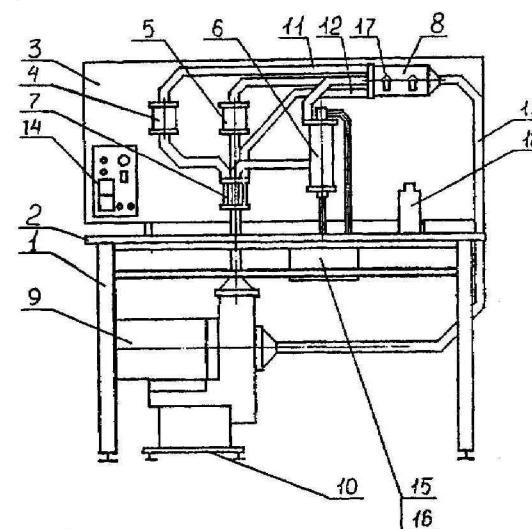


Рис.8. Схема лабораторной установки БЖ 7/1

Установка представляет собой стол 1 лабораторный оригинальной конструкции, выполненный в виде металлического сварного каркаса, на котором устанавливается столешница 2 и вертикальная панель 3.

На вертикальной панели 3 установлены устройства очистки: угольный адсорбер 4, силикагелевый адсорбер 5 и водяной адсорбер 6. Также на вертикальной панели 3 расположены

многоканальный кран-распределитель 7 (далее – кран-распределитель) и универсальная камера-смеситель 8 (далее – камера-смеситель). В подстойной части установки расположен вентилятор 9, закрепленный на раме 10.

С помощью вентилятора 9 создается воздушный поток в магистралях 11 очистки, соединенных с адсорберами и абсорбером, и свободной магистралю 12. Воздушный поток от вентилятора 9 поступает в кран 7, который обеспечивает возможность переключения магистралей. Далее по одной из магистралей воздушный поток попадает в камеру 8 и по возвратной магистрали 13 возвращается к вентилятору 9. Таким образом, пневмосистема установки является замкнутой.

На вертикальной панели 3 размещен блок 14 управления, на лицевой панели которого расположены тумблеры для включения установки, вентилятора 9 и насоса 16 гидросистемы абсорбера.

Адсорбер представляет собой прозрачную цилиндрическую емкость, имеющую верхнюю и нижнюю крышки с ниппелями и заполненную веществом-адсорбентом. Один адсорбер заполнен *активированным углем*, другой - *силикагелем*.

Абсорбер представляет собой цилиндрическую емкость из прозрачного материала, внутри которого имеется разбрызгиватель с решеткой для создания мелкодисперсной водяной среды.

Под столешницей 2 расположена насосная станция 15, представляющая собой прямоугольную емкость с водой, на дне которой установлен погружной насос 16. Вода подается по напорной трубке в разбрызгиватель абсорбера 6 и сливается по возвратной трубке в емкость с водой. Таким образом, гидросистема абсорбера является замкнутой.

Камера 8 представляет собой цилиндрическую металлическую емкость со стеклянными кранами 17 и служит для внесения в воздушный поток пневмосистемы веществ-загрязнителей, отбора проб загрязненного и очищенного воздуха,

обеспечения дополнительного объема воздуха и перемешивания воздуха с веществами-загрязнителями. Внесение веществ-загрязнителей и отбор проб осуществляется с помощью стеклянных кранов 17.

Склянки 18 для хранения веществ-загрязнителей размещены на столешнице 2. На каждой склянке нанесено наименование вещества-загрязнителя.

2.1.2. Меры безопасности при работе

1. К работе на установке допускаются лица, ознакомленные с ее устройством, принципом действия и мерами безопасности в соответствии с требованиями, приведенными в настоящем разделе.
2. **Запрещается** включать насос гидросистемы абсорбера, когда воздушный поток не проходит через абсорбер.
3. Концентрация используемых в процессе проведения лабораторной работы веществ-загрязнителей должна строго соответствовать указанной в разделе 2.3.
4. Перед эксплуатацией установки подключить заземляющий болт на блоке управления и заземляющие болты на вентиляторе, обозначенные «ЛД» к контуру заземления лаборатории.
5. Лабораторную работу необходимо проводить в хорошо проветриваемом и вентилируемом помещении.

2.1.3. Возможные неисправности и способы их устранения

Перечень наиболее часто встречающихся и возможных неисправностей приведен в *табл.1*.

Таблица 1

Наименование неисправности, внешнее проявление и дополнительные признаки	Вероятная причина	Способ устранения
Не работает пульт управления	Нарушена цепь электропитания установки	Проверить монтаж электрической цепи питания и устранить неисправность
Не работает вентилятор	Нарушена цепь электропитания вентилятора	Проверить монтаж электрической цепи питания и устранить неисправность
Не работает разбрызгиватель абсорбера	Нарушена цепь электропитания насоса гидросистемы	Проверить монтаж электрической цепи питания и устранить неисправность
Нарушена герметичность пневмосистемы	Нарушена герметичность стыков пневмосистемы	Выявить негерметичность и устранить
Протечка гидросистемы абсорбера	Нарушена герметичность стыков гидросистемы	Выявить негерметичность и устранить
Не происходит очистка воздуха с использованием адсорберов	Выработан ресурс адсорбентов	Разобрать адсорберы и заменить адсорбенты

2.2. Краткая характеристика используемых загрязняющих веществ

В качестве загрязнителей воздуха используются следующие вещества:

- 1) ацетон,
- 2) бензин,
- 3) аммиак (нашатырный спирт),
- 4) уксусная кислота.

Значения предельно допустимых концентраций указанных веществ в атмосферном воздухе приведены в табл.2.

Таблица 2. Предельно допустимые концентрации (ПДК) используемых загрязняющих веществ в атмосферном воздухе

№ п/п	Наименование вещества	ПДК (мг/м ³)			Класс опасности
		рабочей зоны	населенных пунктов		
			максимальная разовая	среднесуточная	
1.	Аммиак	20	0,2	0,04	4
2.	Ацетон	200	0,35	0,35	4
3.	Бензин	100	5	1,5	4
4.	Уксусная кислота	5	0,2	0,06	3

2.3. Подготовка к проведению работы

1. Приготовление веществ-загрязнителей атмосферного воздуха:
 - а) В склянку с надписью "Ацетон" при помощи шприца вместимостью 20 мл влить 5 мл ацетона и плотно закрыть резиновой пробкой горлышко склянки;
 - б) В склянку с надписью "Бензин" положить полоску бумаги с нанесенным на нее 2 мл резинового клея и плотно закрыть резиновой пробкой горлышко склянки;
 - в) В склянку с надписью "Аммиак" влить содержимое трех ампул нашатырного спирта вместимостью 1 мл каждая и плотно закрыть резиновой пробкой горлышко склянки;
 - г) В склянку с надписью "Уксусная кислота" при помощи шприца влить 5 мл уксуса и плотно закрыть резиновой пробкой горлышко склянки.
2. Подготовка адсорбера к работе:

Залить в насосную станцию абсорбера 2,5 л воды. Залить воду в насос через напорный штуцер насосной станции, предварительно

сняв с него соединительную трубку. Надеть соединительную трубку на напорный штуцер.

2.4. Порядок проведения работы

1. Подсоединить блок управления установки к сети переменного тока (напряжение 380 В, частота 50 Гц).
2. Многоканальный кран-распределитель перевести в положение, при котором *воздушный поток* будет проходить по *свободной магистрали*.
3. Из склянки с надписью "Аммиак" отобрать 200 мл *загрязненного воздуха* и внести в камеру-смеситель. Для этого *шприц "луер"* вместимостью 150 мл подсоединить к крану склянки, открыть кран склянки, немного приоткрыть верхнее горлышко склянки и втянуть в шприц 100 мл *загрязненного воздуха* из склянки. Закрыть верхнее горлышко и кран склянки. Подсоединить шприц к *правому крану* камеры-смесителя, открыть кран и вытолкнуть *загрязненный воздух* из шприца в камеру-смеситель. Закрыть кран камеры. *Описанные выше действия повторить еще один раз.*
4. С помощью тумблера на блоке управления *включить вентилятор* и дать возможность *загрязненному воздуху* перемещаться с воздухом пневмосистемы в течение 1 минуты. Время засекается с помощью секундомера "Слава".
5. *Выключить вентилятор*, взять аспиратор и соответствующую индикаторную трубку. Затем открыть *левый кран* камеры-смесителя, прокачать с помощью аспиратора 500 мл (пять сжатий аспиратора) *загрязненного воздуха* через *индикаторную трубку* и закрыть кран камеры. С помощью шкалы на упаковочной коробке индикаторных трубок *определить концентрацию аммиака в воздухе пневмосистемы.*

6. Перевести кран-распределитель в положение, при котором *воздух* будет проходить через *адсорбер с активированным углем* и повторить действия в соответствии с п. 3.
7. *Включить вентилятор* и прогонять *загрязненный воздух* через адсорбер в течение 5 минут. *Выключить вентилятор* и произвести *отбор пробы очищенного воздуха* в соответствии с п. 5.

Определить эффективность очистки воздуха по формуле

$$\mathcal{E} = \frac{K_3 - K_0}{K_3} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где K_3 - концентрация вещества-загрязнителя в *загрязненном воздухе*, г/м³;
 K_0 - концентрация вещества-загрязнителя в *очищенном воздухе*, г/м³.

8. *Вынуть пробку с краном* из камеры-смесителя, *включить вентилятор* и в течение 2 минут производить продувку *магистралей пневмосистемы*. *Каждую магистраль необходимо продувать в течение 30 секунд*, для чего необходимо переключать кран-распределитель через указанный интервал времени. После завершения продувки *выключить вентилятор*.
9. Произвести действия в соответствии с п.п. 2 – 5.
10. Перевести кран-распределитель в положение, при котором *воздух* будет проходить через *адсорбер с силикагелем* и повторить действия в соответствии с п. 3.
11. Произвести действия в соответствии с п.п. 7 – 8.
12. Произвести действия в соответствии с п.п. 2 – 5.
13. Перевести кран-распределитель в положение, при котором *воздух* будет проходить через *адсорбер* и повторить действия в соответствии с п. 3.
14. С помощью тумблера на блоке управления *включить насос гидросистемы адсорбера*, при этом *заработает разбрызгиватель адсорбера*.

15. Произвести действия в соответствии с п. 7, но только в этом случае *загрязненный воздух* будет проходить *через абсорбер*.

Выключить насос гидросистемы абсорбера и произвести действия в соответствии с п. 8.

16. Для оценки эффективности очистки воздуха от бензина, ацетона или уксусной кислоты с помощью адсорберов и абсорбера необходимо повторить действия в соответствии с п.п. 2 – 15.

Объем загрязненного воздуха, вносимого в камеру-смеситель, мл:

из склянки "Бензин" 450

из склянки "Ацетон" 200

из склянки "Уксусная кислота" 200

Объем прокачиваемого через соответствующую индикаторную трубку воздуха, мл:

для бензина 1500

для ацетона 1000

для уксусной кислоты 300

17. После завершения лабораторной работы *выключить установку* и *проверить*, закрыты ли пробками все склянки, краны на склянках и краны камеры-смесителя.

3. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет выполняется в тетради или на отдельных листах и должен содержать:

1. Титульный лист по форме 1 (рис.9).
2. Изложение цели работы.
3. Схему лабораторной установки.
4. Порядок выполнения работы (в виде блок-схемы).
5. Расчетные формулы и шаблоны табл.3 и 4.
6. Результаты эксперимента, сведенные в табл.3 и 4 и рис.10.
Все необходимые расчеты должны быть проведены в соответствии с правилами приближенных вычислений (см. Приложение).
7. Выводы.

4. УСЛОВИЯ ДОПУСКА К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

1. Наличие оформленных п. 1 – 5 отчета.
2. Успешное прохождение теста, определяющего подготовленность к выполнению работы.

5. УСЛОВИЕ ДОПУСКА К ЗАЩИТЕ РАБОТЫ

Наличие полностью оформленного отчета с отметками преподавателя о допуске и выполнении работы.

Форма 1

Московский автомобильно-дорожный институт
(государственный технический университет)

Кафедра «Инженерная экология»

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА
по курсу «Безопасность жизнедеятельности»

Методы очистки атмосферного воздуха
от загрязнителей (паро- и газообразных)

Студент: _____ Ф.И.О.
Преподаватель: _____ Ф.И.О.

Отметка о допуске _____ дата _____ подпись преподавателя
Отметка о выполнении _____ дата _____ подпись преподавателя
Отметка о защите _____ дата _____ подпись преподавателя

Москва 20__ год

Рис. 9

Таблица 3. Концентрации загрязняющих веществ в воздухе до его очистки (K_3) и после (K_0), г/м³

№ п/п	Наименование	Загрязняющее вещество		Методы очистки воздуха			
		Объем загрязненного воздуха, вносимого в камеру-смеситель, мл	Объем воздуха, прокачиваемого через индикаторную трубку, мл	Адсорбент: активированный уголь	Адсорбент: силикагель	Абсорбционный	
				K_3	K_0	K_3	K_0
1.	Аммиак						
2.	Ацетон						
3.	Бензин						
4.	Уксусная к-та						

ЛИТЕРАТУРА

Таблица 4. Эффективность методов очистки воздуха (%)

№ п/п	Загрязняющее вещество	Метод очистки воздуха		
		Адсорбционный		Абсорбционный
		Адсорбент: активированный уголь	Адсорбент: силикагель	
1.	Аммиак			
2.	Ацетон			
3.	Бензин			
4.	Уксусная кислота			

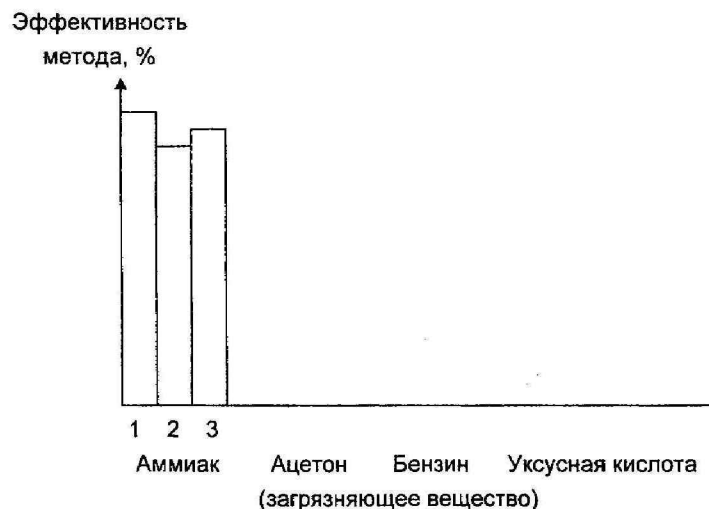


Рис. 10. Гистограмма сравнительного анализа эффективности методов очистки воздуха:

- 1 – адсорбционный метод (адсорбент – активированный уголь),
- 2 – адсорбционный метод (адсорбент – силикагель),
- 3 – абсорбционный метод (абсорбент – вода)

1. Штраус В., Мэйнуорринг С.Д. Контроль загрязнения воздушного бассейна. – М.: Стройиздат, 1989. – 142 с.
2. Охрана окружающей среды: Учебник для вузов/ Автор-составитель А.С.Степановских. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. – 559 с.
3. Безопасность жизнедеятельности: Учебник для вузов/ С.В.Белов, А.В.Ильницкая, А.Ф.Козьяков и др.; Под общ. ред. С.В.Белова. – М.: Высшая школа, 1999. – 448с.
4. Безопасность жизнедеятельности: Учебное пособие для вузов/ Под ред. проф. Л.А.Муравья. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 431с.
5. Безопасность жизнедеятельности в машиностроении: Учебное пособие/ В.Г.Еремин, В.В. Сафронов, А.Г. Схиртладзе, Г.А. Харламов; Под ред. чл.-корр. РАН Ю.М. Соломенцева. – М.: Высшая школа, 2002. – 310 с.: ил.
6. Ратанова М.П. Экологические основы производства: Учебное пособие. – Смоленск: СГУ, 1999. – 176 с.
7. Паспорт установки лабораторной «Методы очистки воздуха от газообразных примесей БЖ 7/1» – М.: РНПО «Росучприбор», 1999.
8. Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в воздухе населенных мест: Гигиенические нормативы. – М.: Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ Минздрава России, 1998. – 69с. (ГН 2.1.6.695-98).

ПРИЛОЖЕНИЕ

ПРАВИЛА ПРИБЛИЖЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Запись приближенных чисел

Результат измерений представляет собой приближенное число, точность которого определяется ошибкой. *Приближенное число* записывают так, чтобы ошибка последней цифры не превышала десяти единиц соответствующего разряда. При такой записи все цифры числа, кроме последней, будут *верными*. Последняя цифра называется *сомнительной*, все цифры правее сомнительной – *неверными*.

При записи окончательного результата все неверные цифры отбрасываются с соблюдением правил округления. Если приближенное число входит в расчетную формулу (в вычисления), в нем сохраняют одну неверную цифру – *запасную*. Например, если результат измерения равен 1,2763, а ошибка – 0,02, то окончательный результат – $1,28 \pm 0,02$ (отброшены две неверные цифры, оставлены две верные и одна сомнительная), если же результат измерения входит в вычисления, то используется число 1,276, где цифра 6 – запасная.

В таблицах математических и физических величин приводятся числа только с верными и одной сомнительной, за максимальную (т.е. предельную) ошибку округления принимается половина единицы сомнительной цифры.

Пример 1. Из тригонометрических таблиц можно найти значение $\sin 48^\circ = 0,7431$. Ошибка округления принимается равной $\pm 0,00005$.

Пример 2. Из физических таблиц плотность ртути при 20°C равна $19,5458 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Ошибка округления равна $\pm 0,00005 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Правила округления

1. Если первая отбрасываемая цифра больше пяти, то последняя сохраняемая цифра увеличивается на единицу; если отбрасываемая цифра меньше пяти, то последняя цифра оставляется без изменений.
2. Когда отбрасывается только цифра 5, а последующих цифр младших разрядов нет или они неизвестны, то сохраняемая четная цифра увеличивается на единицу.
3. При округлении целых чисел все цифры, отброшенные при округлении, заменяются множителем 10^n , где n – количество отброшенных цифр.

Пример округления целого числа: $x = 30367 \approx 30 \cdot 10^3$.

Пример округления дроби: $x = 9,8066 \approx 9,81$.

Вычисления с приближенными числами

Точность результата математических операций с приближенными числами определяется количеством значащих цифр в этих числах. *Значащими* цифрами числа называются все верные и сомнительная цифры. Незначащими считаются все нули, стоящие левее первой значащей цифры.

Результат любого арифметического действия с приближенными числами – есть также приближенное число, в котором могут быть и неверные цифры, подлежащие отбрасыванию. Так как сложение и умножение верной цифры и неверной дает неверную, а верной и сомнительной – сомнительную, то результат вычислений, очевидно, не может быть точнее самого неточного числа в исходных данных. Отсюда ясно, что не только окончательные результаты, но и числа в промежуточных выкладках, а также исходные приближенные числа необходимо округлять. Округление производится следующим образом.

1. При сложении и вычитании все слагаемые округляют до сомнительной цифры, стоящей в самом высшем разряде, а затем производят сложение (или вычитание):

$$\begin{aligned}x &= 3,14 + 0,847 + 0,936 + 0,0736 + 0,0383 \approx \\ &\approx 3,14 + 0,85 + 0,94 + 0,07 + 0,04 = 5,04.\end{aligned}$$

Если округления не делать, то сумма будет равна 5,0359, где две последние цифры не верны, так как в первом слагаемом верных цифр только две, третья – сомнительная, а далее могут быть неизвестные цифры. Округление существенно облегчило получение результата без потери точности.

При вычитании близких по величине чисел возможна потеря относительной точности. Например, в случае разности

$$x = 5,7256 - 5,7243 = 0,0013$$

исходные данные имеют по 5 значащих цифр, а результат – две, причем только одну верную цифру. Увеличение точности в таком случае возможно только путем изменения метода измерений (или вычислений) и, следовательно, использования расчетной формулы, не содержащей разности близких величин.

2. При умножении и делении в полученном результате будет столько значащих цифр, сколько в исходном данном с наименьшим количеством значащих цифр. Аналогично предыдущему следует предварительно округлять все числа, оставляя, если это может повлиять на результат, одну запасную цифру:

$$x = 0,035835 \cdot 62,3 \approx 0,0358 \cdot 62,3 \approx 2,23.$$

3. При возведении в степень и извлечении корня у приближенного числа должно быть оставлено значащих цифр столько, сколько их в основании:

$$x = 2,84^3 \approx 22,9.$$

В числе, полученном после извлечения корня любой степени, следует оставлять столько же значащих цифр, сколько их было в числе под корнем:

$$x = \sqrt{4,5400} \approx 2,1307.$$

4. При логарифмировании в мантиссе приближенного числа берется столько значащих цифр, сколько их в логарифмируемом числе:

$$x = \ln 10,0 \approx 2,30.$$

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Основные теоретические положения	4
1.1. Загрязнение атмосферного воздуха	4
1.2. Показатели (нормативы) качества атмосферного воздуха	6
1.3. Защита атмосферы от промышленных загрязнителей	8
2. Методика проведения работы	19
2.1. Лабораторная установка БЖ 7/1	19
2.1.1. Устройство и принцип работы	19
2.1.2. Меры безопасности при работе	21
2.1.3. Возможные неисправности и способы их устранения	21
2.2. Краткая характеристика используемых загрязняющих веществ	22
2.3. Подготовка к проведению работы	23
2.4. Порядок проведения работы	24
3. Требования к оформлению отчета	27
4. Условия допуска к выполнению работы	27
5. Условие допуска к защите работы	27
Литература	31
Приложение	32



394539

Редактор И.А. Короткова
Технический редактор И.А. Короткова