**Содержание**

1. **Введение ……………………………………………….……………………………………….. 2 стр**
2. **Очистка промышленных газов от окислов азота ………………………………………… 2 стр**
3. **Очистка газов от двуокиси серы ……………………………………………………………. 8 стр**
4. **Очистка газов от сероводорода ………………………………………………………………. 12 стр**
5. **Очистка газов от СО2 ………………………………………………………………………….. 15 стр**
6. **Список использованной литературы ………………………………………………………... 17 стр**

**ВВЕДЕНИЕ**

Газообразные выбросы очень неблагоприятно влияют на экологическую обстановку в местах расположения этих промышленных предприятий, а также ухудшают санитарно-гигиенические условия труда. К агрессивным массовым выбросам относятся окислы азота, сероводород, сернистый, углекислый и многие другие газы.

Например, азотнокислотные, сернокислотные и другие заводы нашей страны ежегодно выбрасывают в атмосферу десятки мил­лионов кубометров окислов азота, представляющих собой сильный и опасный яд. Из этих окислов азота можно было бы выработать тысячи тонн азотной кислоты.

Не менее важной задачей является очистка газов от двуокиси серы. Общее количество серы, которое выбрасывается в нашей стране в атмосферу только в виде сернистого газа, составляет око­ло 16 млн. т*.*  в год. Из этого количества серы можно выработать до 40 млн. т. серной кислоты.

Значительное количество серы, главным образом, в виде серо­водорода содержится в коксовом газе.

Серосодержащий газ, используемый в металлургической про­мышленности для обогрева мартеновских и нагревательных печей, вызывает угар металла и повышает содержание серы и стали, ухуд­шая ее качество. Потери металла при этом исчисляются сотнями тысяч тонн в год.

С дымовыми газами из заводских труб и энергетических уста­новок ежегодно выбрасываются в атмосферу несколько миллиар­дов кубометров углекислого газа. Этот газ может быть использован для получения эффективных углеродсодержащих удобрений.

Приведенные примеры показывают, какие огромные материаль­ные ценности выбрасываются в атмосферу с газообразными выбросами.

Но более серьезный ущерб эти выбросы приносят тем, что они от­равляют воздушный бассейн в городах и на предприятиях: ядови­тые газы губят растительность, крайне вредно действуют на здо­ровье людей и животных, разрушают металлические сооружения и коррозируют оборудование.

Хотя в последние годы отечественные промышленные предприятия работают не на полную мощность, но проблема борьбы с вредными выбросами стоит очень остро. А учитывая общую экологическую обстановку на планете, необходимо принять самые срочные и самые радикальные меры по очистке выбросных газов от вредных примесей.

**ОЧИСТКА ПРОМЫШЛЕННЫХ ГАЗОВ ОТ ОКИСЛОВ АЗОТА**

Существующие методы очистки подразделяются на три группы: поглощение окислов азота жидкими сорбентами, поглощение окис­лов азота твердыми сорбентами и восстановление окислов азота до элементарного азота на катализаторе.

Наиболее распространенным методом в нашей стране является очистка газов от окислов азота путем поглощения их растворами Na2CO3 и Са (ОН)2 , сравнительно реже — NaOH и КОН.

Метод щелочной очистки требует больших капитальных затрат и эксплуатационных расходов, но главный его недостаток в том, что степень абсорбции окислов азота не превышает 60—75% и, таким образом, этот метод не обеспечивает санитарной нормы очистки газов. Полученные в процессе очистки щелока нуждаются в дальнейшей многостадийной переработке для получения из них твердых солей.

Метод поглощения окислов азота твердыми сорбентами — силикагелем, алюмогелем, активированным углем и другими тверды­ми поглотителями — не нашел промышленного применения из-за сложности, малой надежности и дороговизны.

Метод каталитического восстановления окислов азота начал применяться только в последние годы и пока является наиболее совершенным методом. Главными его недостатками являются:

большие капитальные затраты; громоздкость оборудования, изго­товляемого из дефицитной нержавеющей стали; необходимость применения дорогостоящего катализатора; большие потери катализатора при регенерации; значительные расходы газов восстанови­телей (Н­2, СН4 или СО). В результате каталитической очистки в атмосферу выбрасывается другой ядовитый газ — окись углерода в количестве 0,10-0,15 %. Кроме того, каталитическая очистка не предусматривает утилизацию окислов азота и применима лишь в случае очистки слабо концентрированных газов, содержащих лишь до 0,5 % NO+NO2 и до 4-5 % кислорода.

Основная трудность очистки выхлопных газов от окислов азота состоит в том, что в газах присутствуют окислы азота с различной степенью окисленности: газы слабо окисленные (содержание окиси азота в газе более 60% от общего количества NO+NO2­­­­­ средне окисленные (содержание NO в пределах 45-60%) высоко окисленные (окислы азота преимущественно в виде *­*NO2 более 60-70 % от их общего количества). Наиболее трудно производить очистку слабо окисленных газов. Двуокись и высшие окислы азота сравнительно хорошо поглощаются водой и водными растворами некоторых солей, окись азота (NO) большинством из указанных растворов не поглощается. Для полного поглощения окислов азота из газовых смесей необходимо предварительное окисление NO до NO2 не менее чем на 50—55%.

Разработаны конструкции аб­сорбционных аппаратов, работающих при высоко турбулентном режиме, — это механические ротационные аппараты горизонталь­ного и вертикального типов и полые распылительные абсор­беры.

Поглощение окислов азота жидкими сорбентами в механиче­ских абсорберах с большим числом оборотов. Влияние гидродина­мических условий на скорость абсорбции окислов азота опреде­лялись в механических абсорберах с большим числом оборотов, а в качестве поглотителей испытывались растворы Са (ОН)2, NH3, Na2CO3 и др.

Общий вид горизонтального механического абсорбера показан на рис. 1. Аппарат представляет собой разъемный цилиндр *1*, вы­полненный из нержавеющей стали. Внутри цилиндра на подшипниках

*Рис. 1. Общий вид горизонтального механического абсорбера.*

установлен вал *4* с закрепленными на нем перфорированными дисками 5. Вал приводится в движение электродвигателем *2* через редуктор *3* или клиноременную передачу.

На 1/3 диаметра диски имеют радиальные разрезы, с помощью которых формируются лопатки, отогнутые навстречу друг другу под углом 15—17°. Области между дисками в аппарате разделены полудисками, создающими зигзагообразное движение газа в ап­парате.

При вращении дисков лопатки захватывают жидкость, которая заполняет нижнюю часть аппарата и распыляет ее по всему объе­му аппарата, при этом обеспечивается интенсивное перемешивание газа с жидкостью и высокоразвитая поверхность контакта фаз.

Поглощение окислов азота раствором Са (ОН)2 протекает с образованием нитрит-нитратных солей по уравнению

4 NО2 + 2 Са (ОН)2 == Са (NO3)2 + Са (NO2)2 + 2 Н2О.

В случае взаимодействия Са(ОН)2 с N2O3 образуется только Са(NО2)2 по уравнению

N­2О3 + Са (ОН)2 = Са (NО2)2 + Н2О.

Механические абсорберы являются эффективными массообменными аппаратами, но применение их наиболее целесообразно при переработке сравнительно небольших количеств газа.

*Рис. 2. Схема установки по очистке газов от окислов азота в равно проточной полой башне.*

**Очистка газов от окислов азота в равно проточной полой башне**. Схема уста­новки показана на рис. 2. Основным аппаратом является полый равно проточный абсорбер, представляющий собой цилиндрическую башню, в верхней части которой установлен центробежный объем­ный распылитель.

Газ, содержащий окислы азота, из общего газопровода *1* по трубе *2* через задвижку *3* поступает в аппарат барботажного ти­па *4,* в котором регулируется степень окисленности окислов азота, а в случае необходимости и концентрация газа.

Из барботера газ через теплообменник *5* и измерительную диа­фрагму *10* поступает в абсорбционную башню, в нижней части ко­торой размещен экран из слоя колец Рашига *22.* Благодаря экрану газ равномерно распределяется по всему сечению башни и движет­ся противотоком навстречу диспергируемой жидкости. С целью создания равномерного движения газа по сечению в верхней час­ти башни устанавливается второй экран *18,* пройдя через который газ через выхлопную трубу *16* выбрасывается в атмосферу. Погло­тительная жидкость поступает из напорного бака *8* через вентиль *3* и ротаметр *13* в приемную камеру распылительного устройства. Распыленная жидкость, благодаря наличию в башне отража­тельных колец *20,* равномерно распределяется по всему сечению башни. Через штуцер жидкость поступает в приемный сосуд *12,* оборудованный гидравлическим затвором, а оттуда забирается на­сосом *11* и снова подается в напорный бачок. Количество посту­пающего на абсорбцию нитрозного газа регулируется с помощью задвижки и измерительной диафрагмы. Температура газа меняется при прохождении через трубчатый теплообменник, в межтрубное пространство которого подается холодная вода или пар.

Температура поглотительного раствора изменяется путем пред­варительного подогрева или охлаждения его в приемном бачке. Средняя температура в зоне реакции измеряется с помощью ртут­ного термометра *17.*

Установлено, что в полых распылительных абсорберах может быть достигнута высокая степень абсорбции окислов азота до 86— 88% и более.

**Очистка газов от окислов азота в аппаратах комбинированного типа.**

*Рис. 3. Схема промышленной установки для очистки газов от окислов азота в аппаратах комбинированного типа.*

Разработана конструкция абсорбционного аппа­рата, в нижней части которого установлен механический разбрыз­гиватель, приводимый во вращение электродвигателем через клиноременную передачу. Такие абсорберы успешно эксплуатируются на предприятиях, выбрасывающих газы с большим содержанием окислов азота.

Комбинированные аппараты, или вертикальные механические абсорберы, хорошо зарекомендовали себя в эксплуатации. Некоторые из этих установок, предназначенные для санитарной очистки газов от окислов азота, включают две ступени абсорбции с одним или двумя различными поглотителями. На одной из дей­ствующих установок (рис. 3) в качестве поглотителя первой ступе­ни применяется раствор NаОН, а на второй ступени для доочистки газа используется слабый водно-аммиачный раствор, содержащий до 1,5—2,0% аммиака.

Газы, поступающие на очистку, проходят по газоходу через клапан *2* и поступают в общий коллектор *3.* Пройдя регулятор напора *4,* газ через магистральный клапан *5* направляется по газо­ходу 7 в абсорбер первой ступени *14.* Если температура поступаю­щего газа ниже 0° С, он дополнительно нагревается до 10, 30°С в теплообменнике *6,* в межтрубное пространство которого подается пар. Регулятор напора *4* автоматически**,** независимо от давления в об­щем коллекторе, обеспечивает опреде­ленный равномерный расход газа в те­чение всего периода его подачи в аб­сорбер. Если газ имеет температуру 250—350°С, он, как правило, содержит большое количество NО и поэтому, кро­ме охлаждения, нуждается в доокислении. С этой целью газ направляется через клапан *8* в теплообменник *9,* где охлаждается до температуры 18—30°С и далее поступает в регулятор напора *10,* после чего направляется в доокислитель *11.* Сюда же высоконапорным вентилятором *12* через клапан *13* пода­ется воздух в количестве, необходимом для окисления окиси азота. Объем доокисления рассчитан таким образом, что проходящий через него газ успева­ет окислиться не менее, чем на 50%, что необходимо для полной очистки газов от окислов азота. Охлажденный и окисленный газ по газоходу 7 посту­пает на очистку в абсорбер первой сту­пени *14.*

Система очистки газов состоит из двух последовательно установленных абсорберов *14* и *34,* имеющих автоном­ное орошение.

Орошение абсорбера первой ступени производится 8—10%-ным водным раствором NаОН из бака *23,* второй ступени — 3—4%-ным водным раствором NН4OН с помощью центробежных насосов *22.* Приготовление рабочих растворов NаОН и NН­4OН осуществляет­ся в баках *23, 24* и *27.*

Уровень в баках приготовления автоматически поддерживается уравнемером *30,* поплавками *32* и регуляторами *28* и *29.* Слив от­работанной жидкости производится через вентили *33;* регулировка подачи жидкости на абсорберы осуществляется вентилями *31.*

Отделение капелек жидкости от очищенного газа происходит на колпачковой тарелке *35.*

Остановка системы производится автоматически, как только давление во входных штуцерах понизится и сработает реле давле­ния *1*. Автоматическое управление второй системой, работающей на аммиачной воде, осуществляется по аналогичной схеме. При использовании более концентрированных раст­воров увеличиваются потери аммиака с отходящими газами.

При работе установки уже после первого каскада щелочной очистки концентрация окислов азота в газе составляет 0,12—0,63%. Степень очистки газа при этом равна 95—99%. После аммиачного каскада очистки окислы азота в отходящем газе не обнаружива­ются.

Успешная очистка газов от окислов азота до санитарных норм достигается и в случае, если орошение второго абсорбера произ­водится раствором NаОН

**Очистка газов от слабоокисленных окислов азота.** Наибольшую трудность в промышленных условиях представляет поглощение окислов азота с низкой степенью окисленности. Из-за избыточного количества окиси азота в этих газах необходимо подобрать такой поглотитель, который вступал бы в химическое соединение с NО или окислял ее до высших окислов. К первой группе относятся растворы солей кобальта, никеля, меди, марганца, двухвалент­ного железа, сульфиты натрия и аммония, ко второй — окис­лители, растворы перекиси водорода, марганцевокислого ка­лия и др.

**Поглощение окиси азота растворами сернокислой закиси же­леза.** Пределом химической сорб­ции NО раствором FeSO­4 является молярное отношение NО к Fе++ равное 1:1. Присутствие в растворе FеSO4 серной и азотной кислот, солей или органических добавок снижает поглотительную способ­ность раствора.

При сравнительно низких концентрациях NО в газе, в интерва­ле скоростей газа от 0,1 до 1 *м/сек,* коэффициенты абсорбции NО увеличиваются пропорционально степени 0,8 линейной скорости газа.

При абсорбции NО в условиях высокотурбулентного режима основными факторами, определяющими скорость процесса, являют­ся: окружная скорость дисков, объемная скорость газа и парциальное давление окиси азота в газе. Абсорбция NO растворами FeSO4 при интенсивном перемешивании газовой и жидкой фазы проте­кает со значительной скоростью, превышающей скорость абсорб­ции окислов азота растворами щелочей при тех же условиях. Для очистки газа от небольших концентраций окислов азота могут быть применены отбросные травильные растворы металлообраба­тывающих заводов с последующей регенерацией раствора и полу­чением окиси азота в концентрированном виде.

**Поглощение окиси азота растворами сульфита аммония.** Про­цесс очистки газов от окислов азота (при малой степени окисленности) раствором сульфита аммония основан на реакциях

(NH4)2 SO3 + 2 NО → (NH4)2 SO3\* 2 NО;

( NH4)2SO3 +NO2 → (NН4)2 SO4 + NО.

При поглощении NО раствором сульфита аммония получается комплексная соль, стойкая лишь в щелочной среде. В кислой среде соль распадается на сульфат аммония и закись азота

(NH4)2SO3 + 2 NО → (NН4)2SO4+ N2O.

Таким образом, в результате очистки газа от окислов азота образуется сульфат аммония и закись азота.

**Окисление и абсорбция окислов азота водными растворами окислителей.** В основе этого метода лежат процессы взаимодейст­вия окиси азота с водными растворами H2O2, КMnО4, КСlO3, КСlO, NаСlO, NаС1O2, Nа2O2, РbО2, Na2S2O3, К1, K2Cr2O7, (NH4)2S2O8, К2S2O3 и др.

Образующаяся в процессе окисления NО азотная кислота вступает в реакцию с продуктами распада окислителя, при этом в растворе образуются соответствующие соли азотной кислоты.

Скорость окисления NО жидкими окислителями на один, два порядка больше, чем скорость окисления окиси азота кислородом в газовой фазе. Однако жидкие окислители имеют относительно высокую стоимость и поэтому применение их может быть оправ­дано лишь в отдельных специфических условиях.

**Очистка газов от окислов азота водными растворами перекиси водорода.**

Применение для окисления окиси азота - слабого водного раст­вора перекиси водорода не загрязняет раствор побочными продук­тами. Взаимодействие перекиси водорода с окисью азота в общем виде может быть представлено уравнениями

Н2O2 + NО → NО2 + H2O

 3NO2 +H2O → 2HNO3 +NO.

Образующаяся в процессе реакции азотная кислота может быть возвращена в систему или использована для других целей.

Очистка слабоокислен­ных выхлопных газов от окислов азота растворами 3—5%-ной пе­рекиси водорода может успешно заменить щелочной метод.

**Абсорбция слабоокисленных окислов азота водными растворами перманганата калия.** Реакция взаимодействия перманганата калия с окисью азота в общем виде может быть выражена уравнением

KMnО4 + NО + H2O → КNО3 + МnО2 + H2O.

Образующиеся при этом продукты реакции могут быть исполь­зованы как добавка к удобрениям.

Харак­терной особенностью процесса абсорбции окислов азота водными растворами КMnO4 является полное окисление и поглощение ма­лых концентраций NО (до 0,1—0,2%).

Процесс необходимо вести в щелочной среде, так как при этом достигается увеличение степени абсорбции окислов азота

**Поглощение высокоокисленных окислов азота.** На многих пред­приятиях в атмосферу выбрасываются значительные количества NO2, N2O3 и паров азотной кислоты. Высоко окисленные окислы азота и пары НNО3 хорошо поглощаются водными растворами щелочей в аппаратах любого типа с образованием ценных нитрит-нитратных солей. В отдельных случаях и окислы азота при их небольшом содержании могут поглощаться такими поглотителями (раствор мочевины и др.), которые обеспечивают разложение окис­лов азота на нейтральные продукты.

При поглощении окислов азота раствором мочевины происхо­дит восстановление их до N2 и H­2O по уравнению

N2O3 + (NH2)­2CO = СО2 + 2Н2О + 2 N2.

Поглощение окислов азота раствором мочевины производится в механическом абсорбере с большим числом оборотов.

**Адсорбция окислов азота твердыми сорбентами.** Методы адсорб­ции окислов азота из газов твердыми сорбентами позволяют осу­ществить тонкую очистку газа от окислов азота, а также получить концентрированные окислы азота путем десорбции их из сорбента изолированным теплоносителем.

До настоящего времени наиболее эффективным сорбентом яв­лялся активированный уголь, однако в процессе адсорбции и осо­бенно десорбции он быстро окисляется, вследствие чего возникает опасность самовозгорания сорбента; кроме того, активированный уголь имеет низкую механическую прочность. Алюмогель имеет сравнительно небольшую адсорбционную емкость и недостаточ­ную стойкость.

В качестве твердых сорбентов исследованы активированный уголь, силикагель, алюмогель, алюмосиликат и синтетические цеолиты. Лучшим из испытанных сорбентов являются синтетиче­ские цеолиты и алюмосиликат; первые три сорбента непригодны для длительной адсорбции окислов азота. Синтетические цеолиты имеют сильно развитую поверхность и обладают хорошими сорбционными свойствами.

Алюмосиликатный сорбент является эффективным поглотителем окис­лов азота и высокостойким в процессе регенерации. Сочетание его высокой поглотительной способности с механической прочностью, твердостью и термостойкостью определяет целесообразность его применения для сорбции окислов азота. Кроме того, алюмосиликатный сорбент каталитически ускоряет процесс окисления NO, что позволяет применять его для очистки среднеокисленных газов.

**Санитарная очистка газов от окислов азота и других примесей торфощелочными сорбентами с получением торфоазотных удобре­ний.** С целью улавливания окислов азота разработан метод адсорб­ции окислов азота из газа торфощелочными сорбентами в аппара­те с кипящим слоем. Наиболее дешевым и доступным является сорбент, состоящий из торфа и извести (пушонки). При больших скоростях процесса степень улавливания окислов азота этим сор­бентом достигает 96—99%*.* Торф сам является хорошим сорбентом и довольно интенсив­но поглощает окислы азота; при этом, благодаря присутствию в газе кислорода и окислов азота, значительная часть углерода тор­фа окисляется до хорошо усвояемых растениями гуминовых кис­лот. Присутствие в торфе порошкообразного СаО улучшает про­цесс поглощения окислов азота.

Еще больший эффект дает применение торфа, предварительно обработанного аммиаком или при добавке аммиака к торфу не­посредственно в кипящем слое, что приводит к практически полно­му поглощению окислов азота из газа. Вместе с тем торф способ­ствует окислению нитритных солей до нитратных.

Попутно с очисткой газов от окислов азота, двуокиси серы, ту­мана и брызг серной кислоты получаются торфоазотные удобрения.

**Очистка выхлопных газов от окислов азота, сернистого газа, ту­мана и брызг серной кислоты углещелочным сорбентом с получе­нием углеазотных удобрений.** Схема очистки вы­хлопных газов углещелочным сорбентом с одновременным получением углеазотных удобрений аналогична схеме очистки газов торфом, с той лишь разницей, что в качестве сорбента используется не торф, а окисленные и бурые угли.

Степень очистки газа от окислов азота в реакционной зоне на угле в течение одного часа составляет 90—92%. Если это время увеличивали до 2 *час,* степень очистки газа снижалась до 70%.При этом степень очистки от SO2 достигала 95, а от тумана и брызг серной кислоты — 100%.

**Очистка газов от окислов азота в производстве нитролигнина.** Сов­местно с авторами и работниками Андижанского гидролизного за­вода разработан метод получения нитролигнина с применением азотной кислоты концентрацией 50—55%. Одновременно решен вопрос улавливания и использования окислов азота.

Так как окислы азота в газе содержатся преимущественно в виде NO, для улавливания их требуется предварительное окисле­ние окиси азота, что осуществляется в окислительной башне. После окислительной башни окислы азота выходят преимущественно в виде NO2 и полностью адсорбируются лигнином в адсорбере с ки­пящим слоем.

В настоящее время в промышленности внедряется метод ката­литической очистки газа от окислов азота на паладиевом катали­заторе. Однако этот метод требует больших капитальных затрат и эксплуатационных расходов. В результате очистки газов от окислов азота в воздух выбрасывается окись углерода.

Капитальные затраты и эксплуатационные расходы по торфощелочному методу очистки хвостовых нитрозных газов от окислов азота значительно ниже, чем при каталитической очистке, вследствие чего этот метод является с экономической точки зрения наиболее выгодным.

**Каталитическое восстановление окислов азота.** Тонкая очистка газов от окислов азота может быть достигнута методом катали­тического восстановления окислов азота. Восстановление начинает­ся при 149° С в случае применения водорода в качестве восстано­вителя и при 400° С — в случае применения в качестве восстано­вителя метана. Восстановление окислов азота происходит при пропускании смеси газов, содержащих окислы азота с газом - восстановителем, над слоем катализатора. Выделяющееся в про­цессе реакции тепло используется либо для получения пара, либо в газовой турбине.

В качестве восстановительного агента используются водород, метан и газы: природный, отходящие нефтяные и коксовый. Для осуществления процес­са используются катализаторы различных типов.

 Восстанов­ление окислов азота возможно и без катализаторов при использо­вании высокотемпературного восстановительного пламени, при этом газы должны быть нагреты до температуры 950—1200° С. В качестве восстановителей могут быть использованы природный газ, водород и другие горючие вещества.

Бескатализаторный метод восстановления окислов азота имеет меньшие перспективы для промышленного внедрения, вследствие большого расхода горючего газа-восстановителя.

 **Восстановление окислов азота в потоке плазмы.** Отличительная особенность этого метода в том, что нагрев газа производится в потоке низкотемпературной плазмы и добавки к газу - восстановителя производятся в количестве, необходимом для реакции восстановления окислов азота. Эта реакция протекает при 2100—2300° С

Процесс разложения окислов азота протекает в плазмотроне, работающем на постоянном или переменном токе.

**Окисление окиси азота озоном.** Реакция окисления окиси азота протекает с большой скоростью даже при незначительном содержа­нии озона в газе. Основная трудность окис­ления и поглощения окислов азота по этому способу состоит в сложности получения больших количеств озона.

**ОЧИСТКА ГАЗОВ ОТ ДВУОКИСИ СЕРЫ**

Среди газообразных веществ, загрязняющих атмосферный воз­дух, одно из главных мест занимает сернистый ангидрид (дву­окись серы). В обычных условиях это бесцветный газ с резким раздражающим запахом.

Основным источником загрязнения атмосферного воздуха дву­окисью серы являются отходящие газы заводов цветной металлур­гии, выхлопные газы сернокислотных заводов и дымовые газы теплоэнергетических установок, сжигающих высокосернистое топ­ливо.

Существующие методы очистки газов от SO2 можно разделить на три группы: методы, основанные на окислении и нейтрализации SO2 без последующего ее выделения; циклические и комбинирован­ные методы.

К первой группе относятся методы очистки газов от SO2 с переработкой ее в серную кислоту или сернистокислые соли. К цик­лическим относятся методы, позволяющие извлекать SO2 из раз­бавленных газов при низкой температуре и выделять поглощен­ную SO2 при последующем нагреве поглотителя. При использо­вании комбинированных методов поглощение двуокиси серы про­изводится различными основаниями с последующим действием на них сильных кислот, в результате чего выделяется концентрирован­ная двуокись серы и соответствующие соли.

Выбор метода извлечения двуокиси серы зависит от концент­рации SO2, температуры, влажности, наличия в газе других при­месей, а также от специфических местных условий. При выборе метода необходимо учитывать масштабы производства, наличие местного сырья для приготовления поглотительных растворов, воз­можность реализации получаемых при очистке продуктов и т. д.

**Методы, основанные на окислении и нейтрализации** SO2. В по­следние годы разработан и испытывается метод получения серной кислоты из малоконцентрированных газов. Этот метод позволяетдостичь санитарной нормы очистки отходящих газов с одновре­менным получением ценного химического продукта. Отходящие газы предварительно очищают от пыли в электрофильтрах / (рис. 4) и от каталитических ядов (Аs2O3  и SeO2) в промывных башнях *2 и 3,* орошаемых серной кислотой.

*Рис. 4. Схема получения серной кислоты из малоконцентрированных газов (схема СГ — слабые газы).*

Улавливание серно­кислотного тумана, образовавшегося в промывных башнях, произ­водится в волокнистых электрофильтрах *4.* Очищенный от приме­сей сернистый газ с помощью газодувки *5* направляется в контакт­ный аппарат 7. Однако перед этим он должен быть подогрет до 420—440°С. В существующих сернокислотных системах, работаю­щих на концентрированных газах, подогрев газа осуществляется за счет тепла реакции окисления SO2 в SO3. Если содержание SO2 в газе низкое, тепло реакции окисления недостаточно и подогрев газа до температуры контактирования осуществляется путем до­бавления к нему топочных газов, получаемых в результате сжига­ния газообразного или жидкого топлива в топке *6.* В связи с этим в контактном отделении не устанавливаются теплообменники, а понижение температуры газа между слоями контактной массы осуществляется путем добавления к газу атмосферного воздуха. Получаемая в контактном аппарате трехокись серы абсорбируется в башне *8.*

При больших количествах холодной воды целесообразно применять для поглощения SO2 из отходящих газов водный метод очистки. Благодаря низкому парциальному давлению SO2 над водой можно достичь практически полного поглощения двуокиси cеры водой. Однако на практике водная очистка газов от SO2 не нашла широкого применения из-за большого расхода воды и за­грязненности сточных вод.

При промывке сернистых газов водными растворами щелочей происходит поглощение SO2 водой с образованием сернистой кис­лоты, которая нейтрализуется щелочью с образованием солей сернистой кислоты.

Из щелочных методов наиболее перспективны те, которые обес­печивают простоту и надежность работы установки, а также полу­чение товарных продуктов, используемых в народном хозяйстве.

*Рис. 5. Схема очистки выхлопных газов от SO2 известковым способом.*

**Известковый метод.** Принципиальная схема установки по очист­ке отходящих газов от SO2 известковым способом представлена на рис. 5. По этому способу отходящие газы подвергаются пред­варительной очистке от механических примесей (пыли, сажи) в ба­тарейных циклонах *1*, после чего с помощью газодувки *2* направ­ляются в скруббер 3, орошаемый известковым молоком.

При взаимодействии известкового молока с SO2 протекают ре­акции

SO2 + Н2O = Н2SO3;

Са (ОН)2 + SO2 = CaSO3 + 2H2O.

По мере циркуляции раствора в нем накапливается соль СаSО3. Когда концентрация ее в растворе достигнет 18—20%, раствор периодически заменяется свежим. Образовавшийся сернистокислый кальций плохо растворим в воде (0,138 *г/л),* поэтому в систе­ме орошения скрубберов последовательно устанавливается крис­таллизатор 5, служащий для выделения кристаллов сульфита каль­ция. Дальнейшее выделение CaSO3 происходит на вакуумфильтре *6.* Шлам, состоящий из СаSО3 и CaSO4, образующийся за счет реакции

2СаSO3+O2=2СаSO4,

выводится в отвал транспортером 7 и может быть использован для производства строительных материалов*.* Известковый метод обеспечивает практи­чески полную очистку газов от SO2, но требует значительного рас­хода извести.

**Содовый метод.** Сущность этого метода заключается в промыв­ке отходящих газов водными растворами кальцинированной соды. При этом протекают реакции

Na2CO3 + SO2 = Na2SO + СО2,

Na2SO3 + SO2 + H2O = 2 NaHSO3.

Процесс поглощения SO2 содовым раствором осуществляется в аппаратах насадочного или барботажного типов. Газ проходит последовательно две башни, первая из которых орошается раство­ром NaHSO3, вторая — раствором Na2SO3. Содовый способ обеспечивает хорошую очистку отхо­дящих газов от SO2 с одновременным получением товарной соли NaHSO3 и Na2SO­3. Однако он не нашел широкого применения ввиду ограниченного сбыта этих солей.

**Аммиачный метод.** Процесс очистки выхлопных газов от SOg аммиачным методом заключается в промывке газа аммиачной во­дой. При этом протекает реакция

SO2 + 2NH3 + H2O = (NH4)2SO3;

(NH4)2 SO3 + SO2 + H2O = 2 NH4 HSO3.

В присутствии кислорода сульфиты окисляются до сульфатов

(NH4)2SO3  + ½ O2  = (NH4)2SO4;

(NH4)HSO3  + ½ O2  = NH4HSO4.

Так как при взаимодействии сернистого газа с аммиачной водой получаются аммиачные соли, используемые как удобрение в сель­ском хозяйстве, аммиачный метод очистки газов от SO2 перспек­тивен.

**Циклические методы.** В основе циклических методов лежит спо­собность двуокиси серы поглощаться при низких температурах, а затем при повышении температуры выделяться в чистом виде. В некоторых случаях для абсорбции SO2 используются твердые сорбенты. Циклические методы извлечения двуокиси серы являют­ся наиболее эффективными и нашли применение в промышлен­ности.

Принципиальная схема извлечения и концентрирования SO2циклическим методом показана на рис. 6. Охлажденный и очи­щенный от механических примесей газ поступает в абсорберы /, орошаемые поглотителем. Очищенный газ выбрасывается в атмос­феру, а поглотительный раствор нагревается в теплообменнике *3*

*Рис. 6. Схема очистки газов от двуокиси серы циклическим методом.*

и направляется в отгонную колонну 4, снабженную кипятильни­ком *5.* Смесь водяных паров с SO2 поступает в конденсатор *6,* а затем в холодильную башню *8,* орошаемую циркуляционной хо­лодной водой (насыщенной SO2). Водяные пары конденсируются, а чистая двуокись серы извлекается из системы. Раствор охлаж­дают в холодильниках 7 и *9* и собирают в емкости *2.*

**Водный метод.** Недостаток этого способа в том, что на регене­рацию воды расходуется большое количество электроэнергии. Вви­ду малой растворимости SO2 в воде поглотительная установка яв­ляется громоздкой.

**Аммиачный метод.** Капитальные затраты на сооружение очист­ных сооружений могут быть снижены, если в качестве поглотителя использовать более абсорбционноемкие поглотители (водный раст­вор аммиака и др.).

**Магнезитовый метод.** Сущность процесса состоит в поглощении водной суспензии окиси магния

MgO + SO2 == MgSO3.

При нагреве сульфит магния разлагается на

MgSO3 →t­=0 MgO + SO2­­ ­­ с получением товарного SO2, а окись магния снова направляется на поглощение. Как и в случае аммиачного способа часть (до 10°/о) сульфита магния в растворе окисляется в сульфат

2MgSO3 + O2 = 2MgSO4.

Эта часть раствора должна быть компенсирована свежим. В производственных условиях рабочий раствор, содержащий MgSO3 и MgSO4 в шламе, непрерывно циркулирует в системе.

Магнезитовый способ прост и обеспечивает полную очистку газов от 50г. При этом расходуется незначительное количество сырья-магнезита. Однако из-за больших энергетических затрат и громоздкости технологического оборудования он не получил ши­рокого применения.

**Цинковый** метод. Этот способ очистки газов от SО2 аналогичен магнезитовому, но в качестве поглотителя используется суспензия окиси цинка

Отличительной особенностью цинкового способа является то, что на очистку можно подавать газы при высокой температуре (200—250°С). Газ должен быть предварительно очищен от пыли.

**Комбинированные методы.** Комбинированные методы не позво­ляют возвращать в систему поглотительный раствор для повтор­ного использования. Выделение двуокиси серы здесь происходит с попутным получением других побочных продуктов.

**Аммиачно-сернокислотный метод.** При поглощении двуокиси се­ры аммиачной водой образуются сернистокислые соли, которые под действием серной кислоты разлагаются с получением 100%-ного SO2 и сульфата аммония

2NН4НSОз+ Н3SO4 = (NН4)2SO4 + 2SO2 + 2H2O;

(NH4)2 SО3 + Н2SО4 = (NН4)2SO4 + SO2 + Н2O.

Из перечисленных методов наиболее простыми и выгодными являются методы прямой нейтрализации и окисления. На вто­ром месте стоят комбинированные методы. Из циклических ме­тодов наиболее перспективными являются аммиачный и ксилидиновый.

Недостаток всех перечисленных методов — их громоздкость и большие капитальные затраты. Стоимость очистки выхлопных га­зов с малой концентрацией SO2 может быть значительно снижена, если применить эффективное оборудование и получать продукт, пользующийся большим спросом в народном хозяйстве. Полые распылительные абсорберы при меньшей стоимости и меньшем гидравлическом сопротивлении в 3—4 раза превосходят по эффективности аппараты насадочного типа; полые башни проще в изготовлении, имеют меньший вес и не засоряются в процессе эксплуатации. Применяемый для поглощения двуокиси серы вод­ный раствор сульфита аммония отличается большой химической емкостью. При очистке газов от SO2 указанным методом получает­ся ценное удобрение для сельского хозяйства — сульфат ам­мония.

**ОЧИСТКА ГАЗОВ ОТ СЕРОВОДОРОДА**

Сероводород в большинстве случаев является ядом для катали­заторов и живых организмов. Тщательная очистка газов от серово­дорода необходима в производстве синтетического аммиака, син-тетических спиртов, при гидрогенизации жиров, в производстве газов бытового и, применяемого в металлургической промышлен­ности и т. д.

Современные методы очистки промышленных газов от серо­водорода подразделяются, в соответствии с агрегатным состоянием поглотителя, на сухие и мокрые способы. В качестве сухих погло­тителей в промышленности широкое распространение получили гидрат окиси железа и активированный уголь, а в отдельных слу­чаях марганцевые руды.

Мокрые способы очистки газов от сероводорода (H2S) подраз­деляются на окислительные, круговые и комбинированные. При окислительных процессах применяют поглотители, окисляющие сероводород до элементарной серы. В комбинированных процес­сах очистки в качестве поглотителя применяется обычно раствор аммиака, образующий вместе с сероводородом, при его каталити­ческом окислении, сульфат аммония. В круговых процессах при­меняют слабые щелочи, с которыми сероводород связывается в сульфиды, а затем отгоняется от поглотительного раствора в неиз­менном виде.

**Очистка газа от сероводорода гидратом окиси железа**. Сущ­ность этого метода заключается в том, что газ пропускают через твердую сыпучую массу, содержащую Fе(ОН)3. При этом серово­дород вступает в реакцию с Fе(ОН)3, образуя Fе2S3 и FеS.

Одновременно в газ подается небольшое количество воздуха с тем, чтобы содержание кислорода в нем не превышало 1%, кото­рый окисляет серу, содержащуюся в Fe2S3 и FеS и образует снова гидрат окиси железа.

Очистка газа от сероводорода активированным углем состоит в том, что газ пропускается через слои активированного угля с до­бавкой к газу кислорода и некоторого количества аммиака, слу­жащего катализатором. При этом на поверхности угля протекает реакция между сероводородом и кислородом с образованием эле­ментарной серы

2Н2S + О2 = 2S + 2 Н2О + 106 *ккал.*

Степень очистки газа достигает 85—90%, что удовлетворяет требованиям последующих технологических стадий переработки газа.

**Мокрая очистка газа от сероводорода.** В процессе мокрой очист­ки газ промывается соответствующим поглотителем, абсорбирую­щим сероводород. В дальнейшем поглотитель подвергается регене­рации с выделением элементарной серы или сероводорода. В зави­симости от типа применяемых поглотителей различают следующие методы мокрой очистки: железощелочной, мышьяковощелочной, никелевый, железоцианидный, этаноламиновый и ряд других.

Мышьяковощелочной метод очистки газа от сероводорода при­меняется в двух вариантах: мышьяковосодовом и мышьяково-аммиачном

Технологические схемы и аппаратура мышьяковосодового и мышьяковоаммиачного способов одинаковы, поэтому одна и та же установка может работать без существенных изменений как по одному, так и по другому способу.

Железоцианидные способы основаны на окислении Н2S суспен­зией комплексных соединений железоцианидов в аммиачном раст­воре. Технологическая схема процесса, аппаратура поглощения Н2S и регенерации раствора аналогичны процессам и аппаратам мышьяковощелочных способов очистки газов от Н2S в которых содержится NН3.

Никелевый способ по технологической схеме и устройству ап­паратуры близок к железощелочным методам. В качестве погло­тителя применяется 2%-ный раствор кальцинированной соды с до­бавкой NiSO4, который служит катализатором для окисления сероводорода в элементарную серу.

Никелевый способ применим для очистки газов, не содержащих HCN (нефтяные, генераторные и водяные газы), с которой NiSO4 дает устойчивые не регенерируемые соединения. Степень извлечения сероводорода из газов этим способом достигает-—95%, выход эле­ментарной серы — 85%.

**Круговые способы очистки газа от Н2S.** Отличительной особен­ностью круговых способов очистки газа от Н2S является выделе­ние сероводорода из поглотителя в концентрированном виде с це­лью его дальнейшей переработки в серу или серную кислоту. В качестве поглотителя чаще всего применяется моноэтаноламин, который кроме сероводорода поглощает также углекислый газ.

**Щелочные (карбонатные способы).** Этот метод нашел примене­ние в ряде стран ввиду сравнительной дешевизны процесса и низ­кой стоимости получаемой серы. При регенерации сероводород вы­деляется в виде концентрированного газа

Этот концентрированный газ можно использовать для получения серной кислоты путем сжигания сероводорода. Возможно также использование его для получения элементарной серы путем катали­тического окисления. Поглотителем служат разбавленные водные растворы Nа2СОз (30 *г/л)* или К2СОз.

Усовершенствованием процесса явился вакуум-содовый метод с терморегенерацией поглотительного раствора*.* В последнее время применяется вакуум-поташ­ный метод, технологическая схема которого и аппаратурное оформ­ление аналогичны вакуум-содовому.

По степени очистки газа и простоте лучшим является этаноламиновый способ, при котором достижима очистка газа до следов сероводорода. В условиях атмосферного давления мышьяково-со-довый способ (2 ступенчатый) обеспечивает степень очистки газа от H2S 92—98%; при содовом и поташном способах степень очист­ки достигает 90%. Под давлением степень очистки в последних двух способах повышается.

**Интенсификация очистки коксового газа от сероводорода мышьяковосодовым раствором в ротационных аппаратах.** С целью ин­тенсификации процессов абсорбции сероводорода и регенерации мышьяковосодовоге раствора эти процессы исследовались в гори­зонтальных механических абсорберах с большим числом оборотов. Опыты проводились на установке с использованием промышлен­ного коксового газа, предназначенного для синтеза аммиака.

Горизонтальный механический абсорбер (рис. 1) имел осевой вал с закрепленными на нем 4 дисками с 12 отогнутыми лопатка­ми на каждом диске. Вал абсорбера непосредственно соединен с валом мотора, число оборотов которого регулировалось с помощью реостата.

Конструкция дисков играет важную роль в создании оптималь­ного гидродинамического режима. Лучшими оказались диски с лопатками, развернутыми навстречу друг другу;

Диски перфорированы отверстиями диаметром 8 *мм;* общая площадь отверстий 15—18% ко всей площади диска.

Из сопоставления производительности реакционных объемов насадочных башен и ротационных аппаратов при равных усло­виях можно заключить, что при очистке газов от H2S ротацион­ные аппараты работают интенсивнее насадочных башен в 12— 15 раз.

**Очистка коксового газа от сероводорода раствором соды в равнопроточных полых башнях.** Исследования очистки коксового газа от сероводорода раствором соды проведены на установке, смонти­рованной на Днепродзержинском металлургическом заводе (рис. 18)*.* Коксовый газ, очищенный от сероводорода, предназна­чался для обогрева безокислительной опытной методической пе­чи *17.* Установка обеспечила длительную и непрерывную очистку газа от сероводорода.

Основным аппаратом установки является полая равнопроточная распылительная башня *9 с* объемным центробежным распылителем, приводимым во вращение электродвигателем *12.*

*Рис. 18. Очистка газа от сероводорода в полой башне.*

Газ на очистку поступал из газохода *3* через вентиль *2 в* баш­ню *9.* Расход газа контролировался диафрагмой /. Поглотитель­ный раствор поступал в башню из банка *4* через вентиль *6* и рота­метр *5.* Температура и давление в башне контролировалось термо­метром *11* и манометром *10.* Очищенный газ отводился через газо­ход *13* в смеситель *16,* куда поступал также и воздух; далее газо­вая смесь поступала в печь *17.* Отработанный раствор из башни 9 поступал в сборник *8* и насосом 7 подавался на рециркуляцию.

**Поглощение сероводорода из газов раствором цианамида каль­ция с получением тиомочевины.** Донецким институтом ИРЕА сов­местно с Днепропетровским химико-технологическим институтом проведены исследования по очистке газов от сероводорода раство­ром СаСN2 с получением тиомочевины.

Абсорбция газов раствором цианамида кальция протекает с боль­шой скоростью. Степень поглощения сероводорода из коксового газа в механическом абсорбере достигала 98—99%.

При этом в растворе образовывалась тиомочевина, которая от­делялась от Са(Н8)г на фильтре и после кристаллизации представ­ляла собой стандартный продукт.

**Очистка газов от сероводорода с получением сульфида аммония.** Водный раствор аммиака является хорошим поглотителем серово­дорода. Взаимодействие NНз и Н2S протекает по уравнениям

NН3 + Н2S = NH4HS;

2 NН3 ­+ Н2S = (NН4)2S.

Однако этот метод до сих пор не нашел практического примене­ния вследствие сложности и дороговизны регенерации сульфидных соединений аммония с возвратом аммиака в процесс.

Устранение дорогостоящей и сложной операции (регенерации раствора с возвратом аммиака в процесс) делает этот метод эконо­мически рентабельным.

Указанный метод обеспечивает полную очистку газа от серово­дорода с одновременным получением сульфида аммония.

**Очистка коксового газа от сероводорода и других примесей торфоаммиачным поглотителем.** Основными недостатками сущест­вующих методов очистки коксового газа является многостадийность процесса, громоздкость аппаратуры, большие капитальные и эксплуатационные затраты. С целью устранения этих недостат­ков исследован процесс очистки коксового газа с помощью торфощелочного сорбента в непрерывно действующем аппарате с кипя­щим слоем. Отличительной особенностью этого метода является его непрерывность, одностадийность, компактность и попутное получение дешевых органоминеральных удобрений.

**ОЧИСТКА ГАЗОВ ОТ СО2**

В настоящее время в промышленной практике применяются в основном три метода очистки газа от СО2: водная, щелочная (NаОН или Nа2СОз) и моноэтаноламиновая.

Очистка газа водой осуществляется под давлением 12—30 *атм* ипри этом степень очистки не превышает 80%. Метод требует боль­ших расходов электроэнергии. Очистка газа щелочью является дорогостоящей операцией и поэтому применяется лишь для погло­щения малых концентраций СО2. Наиболее совершенной является моноэтаноламиновая очистка, которая находит все более широкое применение.

Исследовали следующие методы: поглощение СО2 водноаммиачным раствором с одновременным полученим углеаммонийных солей; поглощение СО2 суспензией СаSO4 в аммиачной воде с одновременным получением сульфата аммония; поглощение СО2 раствором гидросульфида кальция с выделением в газовую фазу сероводорода; интенсификация процесса очистки газа от СО2 раст­вором моноэтаноламина в ротационных аппаратах, совместное по­глощение СO2, Н2 и других кислых компонентов из коксового газа торфоаммиачным поглотителем в аппаратах с кипящим слоем. В первых двух случаях продукты очистки — углеаммонийные соли и сульфат аммония — являются удобрениями для сельского хозяй­ства. Третий метод является одной из стадий процесса синтеза тиомочевины. В последнем методе получается комбинированное органоминеральное удобрение.

**Комбинирование процесса очистки газов от СО2 с получением углеаммонийных солей.**

В настоящее время назрела необходимость в рационализации метода очистки синтез-газа от СО2. Сущность предлагаемого мето­да заключается в комбинировании процессов очистки азотоводо­родной смеси от СО2 с получением углеаммонийных солей. В этом случае поглощение СO2 из газа осуществляется водным раствором аммиака (или совместное поглощение NНз и СО2 водой) до ком­прессии газа.

По этому методу около 50% аммиака, производимого в системе, связывается с углекислотой, образуя углеаммонийные соли, а оставшиеся 50% NНз используются в качестве жидкого удобрения (в виде чистого аммиака или его водного раствора). Таким образом, получается короткая схема производства связанного азота. Еще более рационально совместить процесс синтеза аммиака с очисткой газа от СО2 и с производством мочевины. В этом случае вся продукция может быть получена в виде мочевино-углеаммонийных удобрений.

**Поглощение СО2 водноаммиачной суспензией гипса с получе­нием сульфата аммония.** Одним из рациональных методов очистки азотоводородной смеси от СО2 является совмещение этого процес­са с конверсией СаSO4 в сульфат аммония. Перспективность этого метода в том, что наряду с улавливанием СО2 из газа вырабаты­вается ценное удобрение без затрат на него дефицитной серной кислоты.

Так как конверсия гипса и абсорбция СО2 в обычных условиях протекает медленно, то для интенсификации этих процессов приме­нены горизонтальные аппараты ротационного типа, в которых обес­печивалось интенсивное перемешивание газовой и жидкой фаз. По своей конструкции эти аппараты аналогичны механическим абсорберам с большим числом оборотов.

При осуществлении этого процесса в условиях высокотурбулентного режима при 30—35° С и атмосферном давлении можно осуществить практически полное поглощение СO2 из газа.

**Абсорбция СО2 раствором гидросульфида кальция в условиях высокотурбулентного режима.** В некоторых производствах (синтез тиомочевины и др.) в качестве побочного продукта (или отхода производства) получается гидросульфид кальция, который может быть использован, как эффективный поглотитель углекислого газа с одновременным выделением в газовую фазу сероводорода

Са (НS)2 + СО2 + Н2О = СаСОз + 2Н2S.

Полученный таким образом сероводород может быть исполь­зован для получения тиомочевины, серной кислоты, элементарной серы и других ценных продуктов.

**Интенсификация абсорбции СО2 раствором моноэтаноламина в механических абсорберах.** Поглощение СО2 из газов моноэтаноламином нашло широкое применение в технике. Этим путем осу­ществляется получение чистого СО2, или очистка технологических газов от СO2, или сочетание того и другого.

С целью интенсификации процесса абсорбции СО2 раствором моноэтаноламина насадочные аппараты заменялись горизонталь­ными механическими абсорберами с большим числом оборотов.

В условиях высокотурбулентного режима, создаваемого в меха­нических абсорберах, скорость абсорбции CO2 раствором моно­этаноламина резко возрастает.

**Совмещение процесса очистки азотоводородной смеси от СО2 с получением аммиачной селитры.** Помимо непосредственного полу­чения и применения углеаммонийных солей процесс очистки азотоводородной смеси от СО2 может быть совмещен с получением ам­миачной селитры и чистого CO2.

Образование аммиачной селитры протекает при взаимодействии углеаммонийных солей с азотной кислотой по уравнениям

NH4НСО3 + НNОз = NH4NO3 + Н2О + СО2;

(NH4)­2 СОз + 2 HNO3 = 2 NH4 NO3 + 2H2O + СО2.

Выделяющаяся по этой реакции углекислота может быть при­менена для синтеза мочевины и других технологических целей, а аммиачная селитра — в виде жидких удобрений, или в виде твердой соли после выпарки и грануляции.

Помимо указанных здесь методов разработан способ комплекс­ной очистки коксового газа от H2S, СО2 и других кислых компо­нентов торфощелочным поглотителем в аппаратах с кипящим слоем. Этот процесс осуществляется непрерывно и одностадийно в одном аппарате.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Ганз С.Н., Кузнецов И.Е. Очистка промышленных газов. Киев, 1967
2. Очистка промышленных газов и вопросы воздухораспределения. Сборник статей. Л.,1969
3. Очистка промышленных выбросов и утилизация отходов. Сборник научных трудов. Л.,1985