

Тбилисский Государственный Университет им. Ив. Джавахишвили

На правах рукописи

Т и н а т и н Р и г и ш в и л и

**Очистка отработанных промышленных газов от диоксида серы марганцевой
инфильтрационной рудой**

Специальность 05.17.01 – Технология неорганических веществ

А в т о р е ф е р а т

диссертации, представленной на соискание ученой
степени кандидата технических наук

**Тбилиси
2006**

Работа выполнена в Грузинском Техническом Университете

Научные руководители: Доктор технических наук, профессор **Л. Гвасалия**

Доктор технических наук, профессор **М. Мchedlishvili**

Официальные оппоненты: Доктор химических наук, профессор **Ш. Сидамонидзе**

Кандидат технических наук **В. Бахтадзе**

Защита диссертации состоится _____ 2006 г в _____ часов на заседании диссертационного совета по химии Ch 02.23 №5 Тбилисского государственного университета им. Ив. Джавахишвили по адресу: 380028, г. Тбилиси, пр. И. Чавчавадзе №3, химический факультет, ауд.№

Ознакомиться с диссертацией можно в библиотеке Тбилисского государственного университета им. Ив. Джавахишвили по адресу: 380043, г. Тбилиси, ул. университета №1

Автореферат разослан _____ 2006г.

Ученый секретар диссертационного совета ,
кандидат химических наук, доцент

Н. Лория

Общая характеристика работы

Актуальность темы: Экологическая проблема, вызванная производственной и бытовой деятельностью, считается номер первой глобальной проблемой человечества. Прогнозы, сделанные в ближайшем прошлом ведущими научными центрами мира о глобальном потеплении, явно опередили явления, и уже сегодня налицо первые признаки глобального потепления. Нанесенный производственной и бытовой деятельностью ущерб окружающей среде и в том числе атмосферному воздуху, нашел отражение как в растительном мире земли, так и в состоянии здоровья людей; значительно изменился климат, участились случаи выявления все новых и новых заболеваний; уже не поддаются существующим методам лечения многие известные заболевания, которые раньше подчинялись контролю; быстрыми темпами растет число людей, больных различными формами опухолей.

Среди загрязняющих атмосферу отравляющих веществ, первое место по объему занимает диоксид серы. Хорошо известно его вредное воздействие как на флору, так и на фауну Земли. Невиданные масштабы выброшенного в атмосферу SO_2 являются одной из основных причин кислотных дождей, которые создают опасность не только живой среде, но и промышленным и гражданским конструкциям – вызывают их разрушение и значительное сокращение сроков их эксплуатации; не говоря уже о количестве SO_2 , поступающем в атмосферу из-за несовершенной технологии переработки серусодержащих ископаемых, годовое количество SO_2 выброшенных в атмосферу вместе с дымовыми газами теплоэлектростанций, превышает 260 млн. тонн. Эта цифра более чем в два раза превышает объем SO_2 , затраченного на производство серной кислоты в мировом масштабе. Из-за того что до сегодняшнего дня не найдено такое альтернативное сырье, которое существенно уменьшило бы применение в качестве энергии твердого, жидкого или газообразного углеводородного топлива, и которое всегда содержит сернистые соединения, с повестки дня не снята проблема загрязнения атмосферы от SO_2 .

Большинство методов очистки отходящих и дымовых газов от SO_2 не обеспечивают тонкое очищение газов от SO_2 ; в ряде случаев применяются очистные реагенты, которые сами являются носителями опасности в отношении окружающей среды. Многие из них, в результате полной регенерации или очищения, не поддаются утилизации аккумулированной в них серы, что дополнительно создает опасность сохранению жизненной среды на Земле.

Исходя из сказанного, целесообразно выбрать такие методы очищения газов от SO_2 и такие массы, которые, с одной стороны, обеспечат тонкую очистку газов, и, с другой стороны, преобразуют в полезный компонент диоксид серы, находящийся в газах. Вместе с тем считаем целесообразным, в качестве очистной массы использовать более доступный и дешевый реагент.

Цель работы. Для решения этой проблемы мы поставили целью: изучить процесс тонкой очистки газов от SO_2 суспензией марганцевой инфильтрационной руды Чиатурского месторождения; установить возможность извлечения марганца, в виде моногидрата сульфата марганца, перешедшего в водорастворимую форму при очистке газа от SO_2 . Для достижения поставленной цели стало необходимым решение ряда комплексных вопросов:

- исследование химического и частично фазового составов марганцевой инфильтрационной руды Чиатурского месторождения;

- выявление факторов на степень очистки газов суспензией марганцевой инфильтрационной руды;

- установление факторов, влияющих возможно полного извлечения марганца, вместе с высокой степени очистки газа.

Методы исследования. Для выполнения научно-исследовательских работ использованы следующие методы исследования и аппаратура:

- Диригатография на диригатографе Q-1500 Q венгерского производства;

- Фотоколориметрия на колориметре типа КФК-2;

- объемный и весовой методы химического анализа;

- предусмотренные государственным стандартом методы определения состава готовой продукции;

- атомно-абсорбционные методы анализа (AS-3Karl Zeiss Jena).

Научная новизна.

- Впервые изучен процесс тонкой очистки газов от SO₂ суспензией марганцевой инфильтрационной руды.

- установлены факторы, влияющие на степень очистки газов от SO₂.

- изучена кинетика процесса абсорбции диоксида серы из газов суспензией марганцевой инфильтрационной руды.

- Установлено, что при очистке газов от SO₂ марганцевой инфильтрационной рудой возможно одновременно получение моногидрата сульфата марганца.

Практическая ценность работы. Применением марганцевой инфильтрационной руды станет возможной тонкая очистка отходящих и дымовых газов от диоксида серы. Вместе с очисткой станет возможной утилизация диоксида серы, находящегося в газах и получение из него моногидрата сульфата марганца – имеющего большой спрос на мировом рынке. Предлагаемая технология очистки газов интересна и тем, что очистная масса не требует предварительного механического или химического обогащения.

Апробация работы. Приведенные в диссертации основные результаты были доложены и обсуждены на:

- V республиканской конференции по химии. Тбилиси, 2004 г.

- II республиканском научном Семинаре теоретически ориентированных химиков, Тбилиси, 2005 г.

Публикации. По основным материалам диссертации опубликованы 3 научных статьи и 2 тезиса докладов научных конференций.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, трех глав, выводов и списка использованной литературы, который содержит 122 названия. Работа включает 115 страниц компьютерного текста, 9 чертежей, 14 таблиц и приложение.

Краткое содержание работы

Во введении сформулированы актуальность темы, принцип выбора объекта исследования, научная новизна и практическое значение работы. Кратко охарактеризованы цель работы и результаты, ожидаемые от ее реализации.

Глава I. Литературный обзор

На основе литературного материала описано глобальное воздействие на окружающую среду загрязнения атмосферного воздуха, вызванного промышленной и бытовой деятельностью, роль диоксида серы в глобальных экологических процессах. Приведены материалы, отражающие источники загрязнения атмосферы диоксидом серы, рассмотрены существующие сухой и мокрый методы санитарной очистки отходящих и дымовых газов. На основе критического анализа литературного материала показано необходимость поиска чистых и эффективных очистных масс для очистки отходящих и дымовых газов от диоксида серы. Также показано, что при выборе мокрого метода очистки целесообразно применять в качестве очистной массы такой реагент, который даст возможность утилизировать диоксид серы в виде полезного продукта.

Глава II. Методика исследования и объекты

Представлены методы, применяемые при теоретическом и экспериментальном исследованиях, и характеристика объектов исследования. Объектом исследования мы выбрали искусственно приготовленный газ, содержащий диоксид серы. Известно, что в дымовых газах, поступающих в атмосферу содержание диоксида серы большей частью не превышает 0,5%. В отходящих газах, в особенности на производствах малой мощности, эта величина часто превышает 0,7-0,8%. С учетом этого основная часть экспериментальных исследований выполнялась на газе, в котором содержание диоксида серы изменялось в пределах 0,3-0,5%. Кратко охарактеризована инфильтрационная руда марганца Чиатурского месторождения; дается ее химический состав. Рассмотрены методы исследования. Для определения содержания в исходном и отработанном газе диоксида серы выбран классический—иодометрический метод, а для определения марганца, перешедшего в процессе очистки, в водорастворимую форму _ фотоколориметрический метод. Для определения компонентов, входящих в инфильтрационную руду марганца и в отработанную суспензию _ хорошо апробированные классические методы. Для установления качества полученного сульфата марганца применяли методы, предусмотренные государственным стандартом.

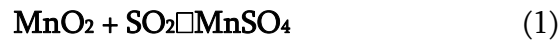
Глава III. Экспериментальная часть

Приведены материалы, отражающие исследование процесса тонкой очистки газов от диоксида серы с применением инфильтрационной руды марганца, состав сульфатных растворов, полученных из отработанной суспензии, а также результаты исследования качественного состава сульфата марганца, полученного путем выпаривания и кристаллизации раствора.

Для исследования был взят образец инфильтрационной руды марганца, химический состав которого представлен в табл.1. Вместе с тем, следует отметить что марганец в нем находится в оксидной форме и представлен с характерной для него переменной

валентностью. Все формы марганца, имеющего степень окисляемости больше двух, определены как активная форма марганца и отнесены к MnO_2 .

Процесс очищения газа от SO_2 в основном осуществляется по следующей суммарной реакции:



Механизм процесса довольно сложный и характеризуется рядом физических и химических преобразований.

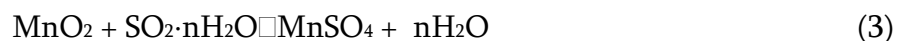
Реакцию (1) формально можно отнести к системе: твердое тело-газ, но реально процесс протекает значительно сложнее. Инфильтрационная руда марганца - гидрофильный минерал и в процессе очистки газов от диоксида серы поверхностью раздела фаз реагирующих веществ является не система твердое тело - газ, а - твердое тело-жидкость. С учетом того, что диоксид серы характеризуется довольно хорошей растворимостью в воде, процесс абсорбций SO_2 суспензией инфильтрационной руды марганца можно разделить на следующие стадии:

1. Абсорбция SO_2 водой.
2. Диффузия растворенного в воде SO_2 на поверхности раздела фаз.
3. Процесс химического взаимодействия SO_2 и MnO_2 с образованием $MnSO_4$.
4. Отщепление продукта реакций ($MnSO_4$) с поверхности твердой фазы и его переход в объем раствора.

Лимитирующей стадией суммарной скорости процесса абсорбций SO_2 суспензией марганцевой инфильтрационной рудой считается процесс, протекающий с самой низкой скоростью.

Первую стадию процесса мы не можем отнести к чисто физическому процессу. Известно, что растворенный в воде SO_2 одновременно существует как в форме сернистой кислоты H_2SO_3 , так и в форме $SO_2 \cdot nH_2O$; в данной форме n меняется от 2 до 4. Как в первой, так и во второй формах существующие соединения находятся в жидкой фазе. Вторая и четвертая стадии чисто являются диффузионными процессами и они подчиняются законам диффузии. Третья стадия - чисто химический процесс.

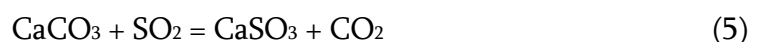
Таким образом, процесс химического взаимодействия SO_2 и MnO_2 целесообразнее выразить реакциями:



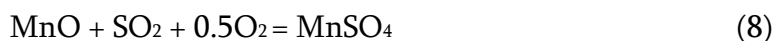
или



С учетом химического состава инфильтрационной руды марганца не исключены также реакций:



Предполагается также, что в результате каталитического окисления диоксида серы будет иметь место реакция



Был изучен процесс абсорбции SO_2 суспензией инфльтрационной руды марганца в интервале 25-45°C при разных объемных скоростях газа. Результаты опытов представлены на рис.1 .

Из рис.1. видно, что степень абсорбции находится в обратно пропорциональной зависимости от объемной скорости газа. Из рис.1. также видно, что с изменением температуры процесса характер изменения степени абсорбции, при различных объемных скоростях газа, резко отличаются друг от друга. Так например, при объемных скоростях $80 \cdot 10^3$ и $90 \cdot 10^3$ час⁻¹ степень абсорбции SO_2 находится в линейной зависимости от температуры. При сравнительно низких скоростях с увеличением температуры степень абсорбции быстро снижается, а затем меняется незначительно. Предполагаем, что такой характер изменения степени абсорбции обусловлен следующими факторами:

При сравнительно низких объемных скоростях и низкой температуре степень абсорбции диоксида серы высокая.

Высокое значение степени абсорбции обуславливается, с одной стороны, низкой фиктивной скоростью газа в жидкости, с помощью чего увеличивается фиктивное время соприкосновения газа с жидкостью и, с другой стороны, низкой температурой. Повышение температуры процесса оказывает два взаимнопротивоположные влияния на степень абсорбции SO_2 . В частности, с ростом температуры быстро понижается равновесная концентрация SO_2 в жидкости, что отрицательно отражается на скорости абсорбции, с другой стороны, растет скорость химического взаимодействия MnO_2 с SO_2 , что положительно влияет на процесс абсорбции. Думаем, что при низких температурах скорость диффузии SO_2 значительно превышает скорость химической реакции, в результате чего снижается градиент концентрации SO_2 на поверхности раздела фаз: жидкость-твердое тело. При более высоких температурах (35-45°C) скорость растворения SO_2 приравнивается к скорости химической реакции, ввиду чего скорость абсорбции SO_2 практически остается постоянной. При высоких объемных скоростях газа время контакта газа с суспензией сокращается. На поверхности раздела фаз газ-жидкость сохраняется высокое значение градиента концентрации; что найдет отражение на кривой зависимости абсорбции от температуры.

Изучена зависимость относительной скорости абсорбции SO_2 суспензией марганцевой инфльтрационной руды от объемной скорости газа при различных температурах процесса. Определение скорости производилось по формуле:

$$V = \frac{V_a \cdot \eta \cdot 1000 \cdot 64 \cdot C_{\text{SO}_2}}{100 \cdot V_s \cdot 22.4 \cdot 100} \text{ г/л} \cdot \text{час}$$

где, V_a -скорость газа, л/час;

η -степень абсорбции через 3 минуты после начала процесса, %;

V_s -объем суспензии, литр;

C_{SO_2} - концентрация диоксида серы в исходной смеси, (% , объем.).

Результаты исследования представлены на рис.2.

Анализ кривых показывает, что с повышением температуры относительная скорость абсорбции значительно понижается. Можно сделать вывод, что на первых минутах начала процесса абсорбции из газов инфильтрационной рудой марганца лимитирующим фактором представляется не скорость взаимодействия MnO_2 и SO_2 , а скорость физической абсорбции SO_2 жидкостью.

Изучение процесса очистки газа от SO_2 в лабораторных условиях проводилось на полупроточной лабораторной установке – состав газа, подаваемого в систему, был постоянным, а состав суспензии менялся в течении всего процесса. Это позволило одновременно изучить зависимость степень абсорбции от продолжительности процесса, с одной стороны, и от состава суспензии, с другой стороны.

Результаты опытов приведены в таблице 2 и на рис. 3.

Результаты исследования показали, что с увеличением температуры и продолжительности процесса степень абсорбции SO_2 понижается.

Считаем, что снижение степени абсорбции SO_2 и тем самым прогрессивный рост концентрации SO_2 в выходящем из реактора в газе, обусловлены значительным снижением концентрации активной части марганца в суспензии. Исходя из этого считаем целесообразным, что для сохранения высокой степени абсорбции вместе с тем и для достижения высокой степени извлечения марганца из руды. Процесс очистки следует осуществлять в две стадии.

Для установления оптимальных условий процесса очистки газа от диоксида серы инфильтрационной рудой марганца мы предложили применить математический метод планирования эксперимента. Комплексно изучили действующие на процесс очистки следующие факторы: концентрация SO_2 , температура процесса и объемная скорость.

За основной уровень были взяты следующие значения параметров: концентрация SO_2 в газовой смеси – 0,5%; температура – 30°C; объемная скорость газовой смеси 14000 час⁻¹

Для описания процесса очистки мы воспользовались полным факторным экспериментом типа 2ⁿ, условия планирования которого и матрица даны в таблицах 3 и 4.

Переход от натуральных переменных к кодированным переменным осуществлялось применением следующих формул:

$$X' = \frac{Z_{\max} - Z}{\Delta Z}; \quad X'' = \frac{Z_{\min} - Z}{\Delta Z};$$

где, Z_{\max} – максимальное значение фактора;

Z_{\min} – минимальное значение фактора;

Z – основной уровень;

ΔZ – интервал варьирования.

Результаты опыта даны в таблице 4.

где, Y_1, Y_2 – значения степени очистки газовой смеси в двух параллельных опытах;

\bar{Y} – среднее значение степени очистки газовой смеси.

На базе данных полного факторного эксперимента типа 2ⁿ определены коэффициенты линейного уравнения регрессии в кодированных переменных; было получено уравнение

$$Y = 83.81781 - 1.12969X_1 - 2.29156X_2 - 9.38944X_3 + 0.19843X_1X_2 - 0.16944X_1X_3 - 0.3643X_2X_3 - 0.18181 X_1X_2X_3 \quad (9)$$

Оценка коэффициентов уравнения регрессии проведена по критерию Стьюдента, после чего уравнение получило следующий вид:

$$Y = 83.81781 - 1.12969X_1 - 2.29156X_2 - 9.38944X_3 \quad (10)$$

Адекватность полученного уравнения проверена по критериям Фишера ($F=0.32$) и Кохрена ($G=0.216577$). Вычисленные нами значения Фишера и Кохрена оказались меньше их табличных значений при 95% вероятности достоверности ($G=0,6798$, $F=11,3$). Следовательно, полученное уравнение адекватно описывает эксперимент.

Оценка коэффициентов уравнения регрессии по критерию Стьюдента ясно показала, что уменьшение всех трех факторов оказывает положительное воздействие на степень очистки газов от SO_2 инфильтрационной рудой марганца.

С целью повышения степени очистки газовой смеси от SO_2 был применен метод крутого восхождения одновременным понижением концентрации SO_2 , температуры и объемной скорости. Результаты опытов представлены в таблице 5.

Как видим из таблицы, максимальная степень очистки газовой смеси от SO_2 достигнута на 12-ом опыте, параметры которого: концентрация SO_2 - 0,2%; температура - $15^\circ C$; объемная скорость газовой смеси 11000 час^{-1} , после чего опыты были прекращены.

Нами была изучена кинетика процесса абсорбции диоксида серы суспензией инфильтрационной руды марганца. Результаты эксперимента представлены на рис.4.

Анализ полученных кинетических кривых показывает, что в первые минуты протекания процесса изменение степени извлечения марганца находится в линейной зависимости от времени и может быть выражено формулой

$$\alpha = k \cdot \tau$$

где α - степень извлечения марганца, %;

τ - длительность процесса, мин;

k - условная константа скорости процесса, которая представляет тангенс угла наклона линейной части кривой от оси абсцисс.

Для установления лимитирующей стадии процесса абсорбции, были проведены как математические, так и экспериментальные исследования.

При изучении процесса кинетики допустили, что в данных условиях раствор насыщен SO_2 и потому первая стадия (абсорбция SO_2 водой) не может оказать влияние на процесс.

Для математического вычисления применили взаимноконкурентные математические модели. С целью установления лимитирующей стадии, в качестве математических моделей гетерогенного процесса взаимодействия H_2SO_3 (жидкого) и MnO_2 (твердого) применили кинетические уравнения некаталитических гетерогенных реакций:

$$\tau_i = \frac{X_B^0 R}{6M \cdot D \cdot X_A^0} \cdot \left\{ (M-1) \cdot [1 - 3(1-X_{Bi})^{3/2} + 2(1-X_{Bi})] + 6 \cdot \left[\frac{1 - (1-X_{Bi})^{1/3}}{(1-X_{Bi})^{1/3}} + \ln(1-X_{Bi})^{1/3} \right] \right\} \quad (11)$$

$$\tau_i = \frac{X_B^0 R}{M \cdot K \cdot X_A^0} \cdot \left\{ (M-1) \cdot [1 - (1-X_{Bi})^{1/3}] + 0.5 \cdot \left[\frac{1}{(1-X_{Bi})^{2/3}} - 1 \right] \right\} \quad (12)$$

где, X_A^0 и X_B^0 – исходные концентрации SO_2 и MnO_2 в растворе (моль/литр) и в твердой массе (моль/дм³);

K – постоянная условной скорости процесса;

D – коэффициент диффузии;

M – исходное мольное соотношение SO_2 и MnO_2 ;

X_{Bi} – концентрация MnO_2 во времени τ_i ;

R – средний радиус зерна, м.

Значение коэффициента диффузии вычисляли по известной формуле Уилки и Ченга:

$$D_{AB} = 7.4 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{(\Phi \cdot M_B)^{1/2} \cdot T}{\eta_B \cdot V_A^{0.6}}$$

где, Φ – коэффициент ассоциации растворителя; для воды он равен 2.6;

M_B – мольная масса растворителя (воды);

η_B – вязкость растворителя, снп;

V_A – мольный объем растворенных веществ в жидком состоянии при нормальной температуре;

T – температура процесса, К.

Каждую кривую зависимости „ $X_B - \tau$ “ мы обрабатывали по конкурентным моделям (11) и (12), которые описывают различные лимитирующие ступени гетерогенного процесса: (11)-процесс диффузии; (12)-химическую реакцию на поверхности зерна. В качестве критерия для выбора той или другой лимитирующей ступени мы брали стандартные отклонения между экспериментальными значениями и значениями, вычисленными по моделям. Нелинейные уравнения (11) и (12) были решены итерационным методом с помощью компьютера, для чего зависимости (11) и (12) представили в виде $X_B = F(\tau)$:

$$X_{Bi} = -\frac{X_B^0}{2} + \frac{3}{2} \cdot X_{Bi}^{2/3} \cdot X_B^{01/3} - 3 \frac{X_B^0}{M-1} \cdot \left[\left(\frac{X_B^0}{X_{Bi}} \right)^{1/3} - 1 + \ln \left(\frac{X_{Bi}}{X_B^0} \right)^{1/3} \right] + \frac{3M \cdot D \cdot X_A^0}{(M-1) \cdot R^2} \cdot \tau_i \quad (13)$$

$$X_{Bi} = \left[X_B^{01/3} + \frac{X_B^0 \cdot X_{Bi}^{-2/3} - X_B^{01/3}}{2(M-1)} - \frac{M \cdot K \cdot X_A^0 \cdot X_B^{01/3}}{(M-1) \cdot R} \cdot \tau_i \right] \quad (14)$$

Результаты расчета представлены на рис. 5.

Результаты, рассчитанные по уравнению (14), довольно хорошо совпадают с экспериментальными (в особенно в первые 40 мин. протекания процесса), это указывает на то, что процесс протекает в кинетической области и лимитирующим фактором является химическая реакция. На тоже самое указывает значение энергии активации, рассчитанная с помощью значений постоянной условной скорости, найденных экспериментальным путем, которая оказалась равной 181,615 кдж/моль (см. табл.6).

Одним из важных этапов в процессе очистки газов от диоксида серы с помощью суспензии инфльтрационной руды марганца, является переработка отработанного раствора и получение из него сульфат марганца. Результаты химического анализа, полученные фильтрованного раствора сульфата марганца, даны в таблице 7.

Полученные результаты показывают, что вместе с сульфатом марганца в растворе в виде примесей присутствуют сульфаты магния и кальция. Здесь же следует отметить, что

высокая степень очистки раствора от примесей кальция и магния не нужна; известно, что при кристаллизации автоклавным методом сосуществование сульфатов кальция и магния оказывает положительное влияние на выкристаллизовыванию сульфата марганца.

На рис.6 приведена принципиальная технологическая схема процесса очистки газов от диоксида серы суспензией инфльтрационной руды марганца.

Общие выводы

1. Изучен процесс тонкой очистки газов от диоксида серы суспензией инфльтрационной руды марганца.
1. Установлено, что с повышением температуры процесса, при всех остальных одинаковых условиях, значительно снижается степень абсорбции.
2. Методом математического планирования эксперимента установлены параметры, оказывающие влияние на процесс, в том числе температуры, концентрации SO_2 в газе и объемной скорости газа. Установлено, что для достижения максимальной степени абсорбции необходимо соблюдение следующих условий: концентрация SO_2 - 0,2%; температура -15°C; объемная скорость газовой смеси -11000 час⁻¹.
3. Установлено, что значительное снижение количества активного марганца в суспензии отрицательно действует на скорость процесса. С целью сохранения высокой степени очистки необходимо периодическое обновление суспензии новой порцией инфльтрационной руды марганца или же проведение очистки в большом количестве ступеней две стадии.
4. В результате обработки конкурентными моделями кинетических кривых, полученных на базе экспериментальных данных, установлено, что процесс абсорбции протекает в чисто кинетической области и в лимитирующим фактором является не диффузия SO_2 на поверхности раздела фаз: твердое тело – жидкость, а химическая реакция.
5. Установлено, что выпариванием раствора, полученного при очистке газа от SO_2 , можно выкристаллизовать сульфат марганца.
6. При фильтровании отработанного раствора, остающийся шлам может быть использован в производстве стекла.
7. Предложена принципиальная технологическая схема процесса тонкой очистки газов от диоксида серы суспензией инфльтрационной руды марганца.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих трудах:

1. Ригишвили Т., Мchedlishvili М., Гвасалиа Л. Оптимизация процесса очистки отходящих газов от диоксида серы марганцевой инфльтрационной рудой, Химический журнал Грузии, №4 (4), 2005, ст.620-623. (7)

2. Ригишвили Т., Мchedlishvili М., Гвасалиа Л. Влияние некоторых факторов на процесс абсорбции диоксида серы суспензией марганцевых инфильтрационных руд, Труды Тбилисского гос. Университета им. Ив. Джавахишвили "Химия", №361, 2006,ст. 95-98.(4)

3. Ригишвили Т., Мchedlishvili М., Гвасалиа Л., Дучидзе Н. Для изучения кинетики процесса очистки газа от SO₂ марганцевой инфильтрационной рудой, Химический журнал Грузии, №6 (3), 2006, ст.294-297.(7)