

На правах рукописи

Давыдов Юрий Фёдорович

РАЗРАБОТКА МЕТОДА КОНТРОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ СЕРНОЙ
КИСЛОТЫ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ СЕПАРАТОР-
АККУМУЛЯТОР-ОПТИЧЕСКИЙ ПЫЛЕМЕР

Специальность: 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной
среды веществ, материалов и изделий

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Барнаул 2011

Работа выполнена в Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова.

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент
Горбова Галина Михайловна

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Седалищев Виктор Николаевич

кандидат технических наук, профессор
Шатохин Александр Семенович

Ведущая организация: ГОУ ВПО Сибирский государственный
индустриальный университет МОН РФ.

Защита состоится « 21 » сентября 2011 г. в 15:30 на заседании диссертационного совета Д.212.004.06 в Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова по адресу: 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ауд. 127 гл.к.

Ваш отзыв на автореферат, подписанный и заверенный печатью предприятия, просим направлять на имя ученого секретаря по адресу: 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46. E-mail: krivobok@ab.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

Автореферат разослан 11 июня 2011г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Кривобоков Д.Е.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. При пирометаллургической переработке сульфидного сырья на предприятиях цветной металлургии, в том числе цинковых, неизбежно встает вопрос переработки сернистых газов с получением серной кислоты. Этот передел является неотъемлемой частью технологии и требует решения вопросов оптимизации производства по новым технологиям и экологическим нормативам. Вклад серноокислотных цехов в загрязнение промышленно развитых регионов связан с содержанием в выбросах токсичных соединений серного и сернистого ангидрида, а также паров серной кислоты. Возникающие в традиционной технологии получения серной кислоты полидисперсные двухфазные потоки являются нестационарными, что затрудняет проведение оперативного контроля качества технологического процесса ее производства.

В настоящее время, контроль технологического режима получения серной кислоты осуществляется на основе данных по температурам в различных контрольных точках технологической схемы. В отходящих газах контроль концентрации серной кислоты и сернистого ангидрида осуществляется периодически силами лабораторий санитарного контроля на основе методических указаний N 4588 - 88, утвержденных Главным санитарным врачом в 1988 г. Существующие методики, связанные с периодическим отбором проб газов из газоходов, исключают возможность выполнения оперативного контроля технологического процесса и препятствуют снижению уровня экологического воздействия на окружающую среду. Это осложняется и тем, что технология получения серной кислоты включает в себя сложные режимы течения, формирующиеся при подаче или отводе жидкости или газа, при передаче энергии или информации через жидкую или газовую среду в технологической схеме. Подобные течения возникают в системах и устройствах очистки и отвода газовых и газожидкостных сред на предприятиях цветной металлургии, связанных с образованием значительных объемов запыленных технологических и вентиляционных газов.

Для преодоления перечисленных негативных факторов возникает необходимость разработки оптимальных компоновок трубопроводных систем, создающих монодисперсные, прогнозируемые непрерывно и достоверно контролируемые двухфазные потоки. Таким образом, весьма актуальной задачей является создание единой автоматизированной системы, позволяющей непрерывно и с большой точностью оценивать режимные состояния аппаратов, входящих в комплекс серноокислотного производства.

Цель работы. Разработка оптического метода автоматизированного контроля концентрации монодисперсного потока в технологическом процессе производства серной кислоты и технического комплекса средств, реализующего метод.

С учетом этой цели поставлены следующие задачи:

- провести литературный обзор, определяющий степень изученности методов и средств контроля концентрации капельной серной кислоты при ее производстве;

- создать аэродинамический стенд для исследования двухфазного потока и последующего непрерывного измерения его основных параметров;

- экспериментально исследовать зависимости величины и стабильности пониженного давления в приосевой зоне сепаратора от вида завихрителя и степени закрутки потока, а также от величины числа Рейнольдса как основного критерия оценки; исследовать распределение скорости двухфазного потока и перепады статического и динамического давления в различных сечениях по длине сепаратора-аккумулятора;

- разработать метод непрерывного контроля процесса производства серной кислоты в зависимости от концентрации капельной фазы серной кислоты в отходящих газах;

- разработать конструкцию сепаратора-аккумулятора для различных режимов движения двухфазного газо-жидкостного потока на выходе из сернокислотного цеха;

- разработать измерительную блок-схему, описывающую процесс контроля технологических параметров в производстве серной кислоты.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

- доказано, что для уменьшения погрешности измерения оптической плотности с 51% до 7 % необходимо создать монодисперсный поток капельной фазы серной кислоты, который позволяет получить линейную статическую характеристику оптического пылемера;

- установлено, что в отходящих газах капельная фаза серной кислоты, имеющая полидисперсный вид, переходит в монодисперсный вид при следующих условиях: в момент направленного формирования потока с числом Рейнольдса в пределах от $Re = 2000$ до $Re = 600000$; в зависимости от типа применяемого завихрителя и размера зоны приосевого пониженного давления; гидравлического сопротивления и от интенсивности и степени закрутки потока сепаратора-аккумулятора;

- для выбора необходимых режимов работы сепаратора-аккумулятора получены эмпирические формулы для расчета давления

в поперечных сечениях сепаратора и определена универсальная функциональная зависимость, моделирующая движение закрученных двухфазных потоков различной плотности;

- на основе выполненных исследований разработаны метод и автоматизированная система контроля концентрации серной кислоты.

Практическая значимость. Созданная единая система контроля пылегазовых параметров сепаратор-аккумулятор-оптический пылемер обеспечивает контроль технологических процессов и режимов работы приборов на серно-кислотных производствах предприятий цветной металлургии.

Применение различного типа завихрителей создает универсальный комплекс, обеспечивающий решение задач оптимизации и контроля технологического процесса получения серной кислоты и экологического контроля токсичных сернистых выбросов.

Реализация и внедрение полученных результатов.

Оптическая система контроля «сепаратор-пылемер» внедрена на Лениногорском цинковом заводе, что позволило снизить выброс паров серной кислоты в атмосферу на 20%, увеличить срок службы оборудования, а также улучшить экологическую обстановку в регионе.

Результаты диссертационной работы приняты для дальнейшего внедрения на предприятиях цветной металлургии в экологическую программу Восточно-Казахстанской области на 2006-2011 гг.

Разработаны практические рекомендации по использованию измерительного комплекса с целью оптимизации процесса производства серной кислоты.

Внедрены стенд, моделирующий движение закрученных потоков и модель с переменным расходом массы по ее длине в учебный процесс Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева.

К защите представлены основные положения:

- переход полидисперсного потока в монодисперсный поток, с помощью внедрения сепаратора-аккумулятора, обеспечивает уменьшение погрешности измерения концентрации и упрощения измерительной схемы, за счет линеаризации статической характеристики оптического пылемера;

- при направленном изменении параметров движения потока с числом Рейнольдса в пределах от $Re = 2000$ до $Re = 600000$ капельная фаза серной кислоты в отходящих газах, имеющая исходно полидисперсный вид, переводится в монодисперсный вид;

- изменения параметров движения двухфазного потока с требуемым числом Рейнольдса осуществляется с помощью сепаратора-аккумулятора, путем создания закрученного потока с

непрерывным дозированным отбором массы отходящих газов по ходу их движения;

- качество работы сепаратора-аккумулятора зависит от распределения полей приосевого давления и скоростей движения двухфазного потока, от интенсивности и степени его закрутки, формы и размеров закручивающих устройств. Работа сепаратора оценивается предлагаемым критерием эффективности;

- автоматизированная система контроля технологических процессов и режимов работы приборов на серно-кислотных производствах предприятий цветной металлургии, на основе конструкции сепаратор-аккумулятор-оптический пылемер;

Личный вклад автора заключается:

- в разработке единого измерительного комплекса сепаратор-аккумулятор - оптический пылемер;

- в разработке конструкции сепаратора-аккумулятора двухфазных потоков;

- в определении функциональной зависимости между величиной и стабильностью приосевой зоны пониженного давления в сепараторе-аккумуляторе и интенсивности закрутки потока;

- в составлении условий моделирования двухфазных закрученных потоков;

- в разработке методики определения эффективности работы сепаратора-аккумулятора.

Апробация работы. Основные результаты диссертации докладывались: на республиканской конференции "10 лет КамПИ" КАМАЗ-КамПИ (Набережные Челны, 1990 г.), конференциях "Проблемы научно-технического прогресса в развитии региона и отраслей народного хозяйства" (Усть-Каменогорск, 1990–2010 гг.), на семинарах кафедры ядерно-энергетических сооружений Санкт-Петербургского Государственного Университета (1991 г.), на семинарах кафедр Восточно-Казахстанского технического университета (1991–2010 гг.), международных конференциях в г. Алматы в 2000 г.

Публикации. Основные результаты диссертации изложены в 15 печатных работах, в том числе 3 статьи в журналах рекомендованных ВАК России.

Структура и объем диссертации. Диссертация объемом 142 страницы, состоит из введения, пяти глав, списка использованной литературы и 3 приложений. Основная часть изложена на 136 страницах, а приложения на 6 страницах текста; диссертация включает 69 рисунков; 129 формул; список использованной литературы содержит 152 наименования.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В общей характеристике работы сформулированы актуальность темы, цели и задачи работы, дана характеристика ее научной новизны и практической ценности, отражены внедрение результатов работы и ее апробация, приведены структура и объем диссертации.

В первой главе *«Современное состояние производства серой кислоты на предприятиях цветной металлургии. Методы его контроля и повышения экологической безопасности»* дано описание проблемы в выбранном направлении исследований. Отмечено, что на предприятиях цветной металлургии сернистые газы образуются при различных способах переработки сырья. В пирометаллургических процессах при плавке сырья (в ряде случаев с добавлением обжига) и конвертировании штейнов возникают большие объемы отходящих газов с высоким содержанием пыли (до 300 г/м^3) и высокой температурой (до 1300°C). Газы печей кипящего слоя (КС) содержат SO_2 с концентрацией от 11% до 16%. В газах шахтных печей содержание SO_2 составляет от 4% до 6%. Конверторные газы образуются с концентрацией SO_2 от 0% до 12% (в среднем от 3% до 4%), при работе отражательных печей содержание SO_2 составляет от 0,5% до 2,5%.

В настоящее время совершенствуется схема производства контактной серной кислоты путем применения более простых и экономичных технологических узлов и аппаратов по сравнению с существующими. Например, результаты лабораторных и полупромышленных испытаний показали, что при повышении температуры кислоты, орошающей промывные башни, можно обеспечить необходимую очистку газа от остатков пыли, мышьяка и селена без образования тумана. При этом схема производства значительно упрощается, так как из нее исключаются мокрые электрофилтры, часть сушильных башен и ряд вспомогательных аппаратов. Технологический процесс производства серной кислоты является многопараметровым, ход которого зависит от работы отдельных его участков, узлов, трубопроводов. Изменение концентрации паров серной кислоты на выходе из промывного отделения и на отдельных участках показывает изменение режима работы соответствующих узлов или элементов концентрации H_2SO_4 в потоке, выбрасываемом в атмосферу.

Во второй главе *«Контроль процесса производства серной кислоты на предприятиях цветной металлургии и изучение состава отходящих газов на выходе из промывного отделения»* рассмотрены

возможности повышения степени контроля сернокислотных производств и эффективности измерения концентрации паров серной кислоты.

Контроль концентрации паров серной кислоты в данной работе основан на применении оптического пылемера, эффективность работы которого определяется безынерционностью и достоверностью уровня выходного сигнала при работе с однородными средами. При работе с полидисперсным потоком изменение выходного сигнала оптического пылемера во времени имеет хаотический неустановившийся характер, что приводит к возникновению погрешности при определении концентрации паров серной кислоты. Изменение температуры отходящих газов сернокислотных производств, в свою очередь, приводит к нестационарности распределения капель серной кислоты по диаметру трубопровода: колебанию в значительных пределах их крупности и, соответственно, ухудшает условия работы оптического пылемера. Для повышения точности измерений оптического пылемера в данной работе поставлена задача перевода полидисперсного потока в моносиперсный поток хотя бы в зоне измерений. Для создания моносиперсного потока необходимо было определить условия равномерного распределения сернокислотной фазы по диаметру трубы и условия формирования равных по величине капель серной кислоты, образующих ее парожидкую фазу. На рисунке 1 приведены значения выходного сигнала оптического пылемера, работающего на газовом потоке без установки сепаратора-аккумулятора и с его установкой, то есть на полидисперсном и моносиперсном потоке. Графическая зависимость показывает, что установка сепаратора в измерительную схему позволяет обоснованно выбирать напряжение на пылемере.

Обеспечить равномерное распределение паров серной кислоты в трубах возможно при создании зон с пониженным приосевым давлением и перераспределением эпюр скоростей таким образом, чтобы их максимум от оси трубы смещался к периферии. Моносиперсный поток по капельной жидкой фазе серной кислоты, возникает лишь при ее равномерной концентрации по вертикальному сечению потока. Подобное распределение связано с принудительным перераспределением полей давления и скоростей, и требует создания устойчивой зоны искусственного пониженного давления в приосевой части сепаратора. Величина этой зоны и ее устойчивость зависит от интенсивности и вида закручивающего устройства и динамических характеристик перемещаемой среды.

В третьей главе *«Изучение характеристик двухфазных потоков»* приведен анализ литературных источников, рассматривающих движение закрученных потоков и систем с отбором массы через проникаемые стенки. Анализ рассмотренных

литературных источников показал наличие большого практического интереса к подобному виду движения потоков данного вида.

Имеющиеся сведения говорят о недостаточной изученности закрученных потоков с раздачей массы. Не исследована закономерность распределения давления вдоль оси подобных устройств, влияние закрутки потока на формирование профиля скорости в характерных сечениях при отборе массы в пределах чисел Рейнольдса от $Re = 40000$ до $Re = 600000$ и характер изменения сопротивления подобных аппаратов в зависимости от различных факторов.

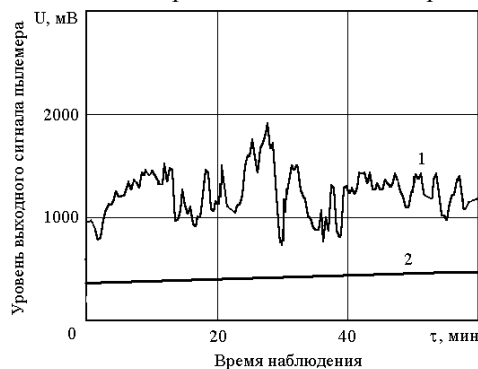


Рисунок 1. Изменение уровня выходного сигнала оптического пылемера во времени (1 – Измерения до установки сепаратора; 2 – Измерения после установки сепаратора).

Поэтому, для проведения экспериментальных исследований был создан аэродинамический стенд, состоящий из электросилового оборудования, приводящего воздух в движение, и собственно аэродинамической части, формирующей течение потока необходимой для экспериментов структуры.

В четвертой главе «Методика экспериментальных исследований» представлены результаты экспериментальных исследований, проведенных на созданном автором экспериментальном стенде.

На стенде изучены параметры потока на различном расстоянии от завихрителя. В данной работе изучены завихрители трех типов: а) с закруткой потока вдоль стенки трубопровода, внутренний диаметр завихрителя 210 мм, наружный 232 мм, высота 3 мм, число лопаток 30; б) аксиальнолопаточный с полной закруткой потока переменным углом атаки. Диаметр внутреннего тела 150 мм, высота лопаток 53 мм; в) аксиально-лопаточный завихритель с полной закруткой потока и переменным углом атаки. Внутренний диаметр – 76 мм, высота лопаток – 91 мм (рисунок 2).

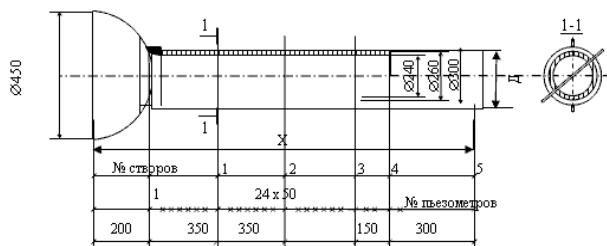


Рисунок 2. Схема экспериментальной модели сепаратора (X – длина модели, Д – диаметр модели).

Рабочий участок модели сепаратора-аккумулятора состоит из двух коаксиальных цилиндрических трубопроводов. Внутренний перфорированный трубопровод выполнен диаметром 260 мм с отверстиями диаметром 4 мм (пористость 49%) и длиной 1200 мм, на его концевом участке установлена непроницаемая заглушка. Наружный трубопровод изготовлен из оргстекла диаметром 300 мм и длиной 1500 мм как показано на рисунке 3. Для измерения давления на стенках трубопровода использовались дренажные отверстия по четырем мерным сечениям с диаметром 0,5 мм.

Измерения давления и скоростей проводились в четырех мерных сечениях по радиусу модели. Гидравлическое сопротивление моделей рассчитывалось по перепаду давления на рабочем участке. Перепад давления измерялся дифференциальным микроманометром ММН-240 и МКВ-250. Отбор давлений P_1 и P_0 проведен на начальном и конечном участке исследуемой модели

$$P_1 - P_0 = m \cdot g \cdot A \cdot \rho_{сп} , \quad (1)$$

где m – тангенс угла наклона трубки микроманометра, g – ускорение свободного падения, $\rho_{сп}$ – плотность спирта, A – отсчет по шкале микроманометра.

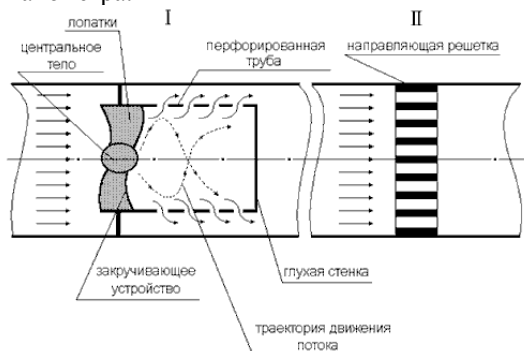


Рисунок 3 . Сепаратор-аккумулятор

Коэффициент местного сопротивления вычисляется по формуле:

$$\xi = \xi_{общ} - \xi_{тр}, \quad \xi_{общ} = \frac{P_1 - P_0}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_0^2}, \quad (2)$$

где $\xi_{тр}$ – коэффициент сопротивления трения участка между измерительными сечениями.

В работе измерения проведены вращением одноструйного термоанемометра с использованием предварительных пространственных тарировок. Использовался термоанемометр постоянной температуры ТАП-1 и основное уравнение этого термоанемометра, имеющее вид:

$$E^2 = E_0^2 + e \cdot V^{0,5}, \quad (3)$$

где E – величина напряжения на выходе термоанемометра, V – скорость потока.

Напряжение тока термоанемометра измерялось вольтметром. Значение осредненной скорости определено по формуле:

$$V = \frac{1}{B^2} \cdot (E^2 - E_0^2)^2. \quad (4)$$

Величина погрешности измерений в зависимости от применяемого метода изменялась в пределах от 0,8% до 4%. Для изучения сопротивления модели использовались зависимости коэффициента сопротивления рабочего участка от чисел Рейнольдса, как показано на рисунке 4. Опыт показывает, что основной расход воздуха (около 85%) проходит через перфорированную стенку на участке трубы между сечениями с $X/D = 4,4$ и $X/D = 5,0$. В кольцевом зазоре до $X/D = 51,5$ скорость движения потока незначительна, где X/D – отношение расстояния до мерного сечения к линейному размеру кольцевого зазора. Распределение скорости в данном сечении близко к равномерному (Δ – размер кольцевого зазора).

Установлено, что наибольшие скорости в потоке наблюдаются у перфорированной стенки, образуя во внутреннем трубопроводе кольцевую область максимальных скоростей, как показано на рисунке 5.

На расстоянии $X/D = 3,5$ градиент скорости имеет минимальное значение, а профиль скорости в кольцевом канале имеет более развитый вид, чем в предыдущих сечениях, где наибольшие скорости наблюдались у стенок.

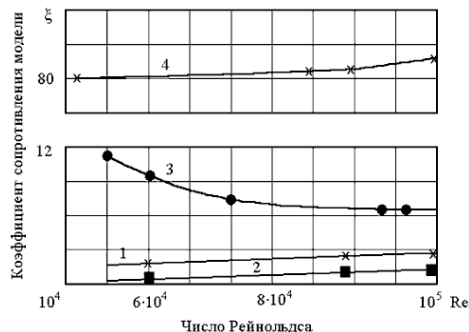


Рисунок 4. Зависимости коэффициента сопротивления рабочего участка модели от чисел Рейнольдса (1 – АЛ-завихритель с $d_0 = 150$ мм, 2 – пристеночный завихритель, 3 – без закрутки потока, 4 – с учетом сопротивления завихрителя).

Изучение изменения осевой и вращательной скорости показывает, что отношение безразмерных осевой и вращательной составляющих скоростей, соответственно,

$$V_{\delta} = \frac{V_w \cdot E}{V} \quad \text{и} \quad V_x = \frac{V_x}{V}, \quad (5)$$

что составляет от 2 до 9 в зависимости от X/D , причем при возрастании последнего, значение V/V_x уменьшается. Вращательная составляющая скорости достигает максимальных значений на расстоянии от стенки r/R от 1,5 до 1,8 во всех измерительных сечениях и независима от числа Рейнольдса в пределах $Re =$ от 2000 до 10000, как показано на рисунке 6.

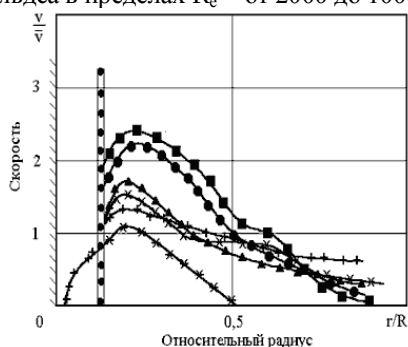


Рисунок 5. Форма профилей скорости в модели 2: ▲ – $Re=1050$, $x/D=1,17$; ■ – $Re=5500$, $x/D=1,17$; x – $Re=3800$, $x/D=1,17$; ● – $Re=5800$, $x/D=2,33$; + – $Re=6200$, $x/D=3,50$; * – $Re=5500$, $x/D=3,50$.

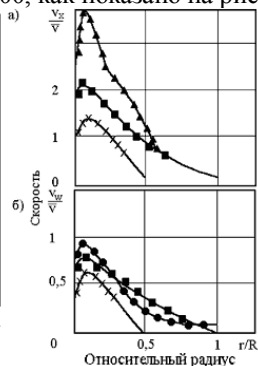


Рисунок 6. Профиль вращательной и осевой составляющей скорости: ▲ – $Re=5500$, $x/D=1,17$; ● – $Re=10050$, $x/D=1,17$; ■ – $Re=5800$, $x/D=2,33$; x – $Re=6000$, $x/D=3,50$.

Зона пониженного давления мало изменяется по величине в зависимости от чисел Рейнольдса и отличается стабильностью по всей длине модели. Скорость потока достигает максимальных значений у перфорированной стенки. По радиусу значения скорости изменялись неодинаково в зависимости от удаления завихрителя, числа Рейнольдса и числа лопаток завихрителя, как показано на рисунке 7.

Показано, что в исследуемой модели потока на всем ее протяжении распределение скоростей и давления зависит от способа закрутки, но экспериментальные данные позволяют допустить существование участка (от 4,5 калибров) на котором характер движения потока сохраняется независимо от способа закрутки.

Максимальная осевая скорость потока определена по формуле:

$$V_{mx} = 0,92 + 0,55 \cdot \Phi^* . \quad (6)$$

Для определения вращательной составляющей скорости используется выражение $V_{mx} = 2,04 \Phi^*$, а радиус на котором достигается это значение $m = 0,51 \Phi$ предлагается максимальное значение вращательной скорости V_{mx} определено из выражения:

$$V_{mx} = 2,04 \cdot \kappa_1 \cdot \Phi_{1,1}^* , \quad (7)$$

где $\kappa_1 = 9,36 \cdot 10^{-6} \text{ Re}$, при $\text{Re} < 0,5 \cdot 10^5$ и $\kappa_1 = 0,655$ при $\text{Re} > 0,5 \cdot 10^5$.

Из приведенных выражений видно, что построенное по зависимостям (6) распределение вращательной скорости (рисунок 6) фактически совпадает с данными эксперимента для завихрителя с $d_o = 150 \text{ мм}$. Для закрученного потока вдоль стенки устройства разница между экспериментальными и расчетными данными существенна, при этом, величина приосевой зоны пониженного давления существенно зависит от условий закрутки потока.

Из рисунка 8 видно, что при минимальном диаметре внутреннего тела перепад давления значительно увеличивается, но соответственно уменьшаются абсолютные размеры по радиусу зоны пониженного давления, то есть, возможно, в зависимости от поставленной задачи создавать различные ситуации движения потока в приосевой зоне. На основании проведенных исследований была получена эмпирическая зависимость распределения давления во внутренней части модели по радиусу:

$$P_{ir} = P_{\max r} \cdot (2,5 \cdot 10^7 \cdot \text{Re})^r \quad (8)$$

для одного сечения. При переходе к другому произвольному сечению выражение (8) преобразуется в (9)

$$P_{ir} = P_{\max} \cdot (2,5 \cdot 10^7 \cdot \frac{X_1}{X_i} \cdot 5 \cdot \text{Re}) , \quad (9)$$

где X_1 – расстояние от первого сечения до входа в модель.

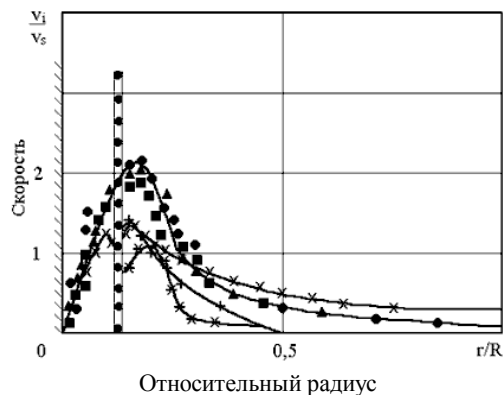


Рисунок 7. Профиль скорости в модели 4

▲ – $Re=2400$, $x/D=1,17$; ■ – $Re=4900$, $x/D=1,17$; ● – $Re=6200$, $x/D=1,17$;
 x – $Re=4600$, $x/D=2,33$; + – $Re=2700$, $x/D=3,50$; * – $Re=6500$, $x/D=3,40$.

Экспериментальные данные по распределению давления в потоке, в диапазоне изменения относительных давлений $P_i/\bar{P}$ от 0 до 6, по точкам измерения имеют следующие значения: 1,4; 1,8; 3,4; 4,0; 4,8; 5,4; 5,8. Из расчетов давлений по зависимости 8 получаем: 1,35; 1,76; 3,48; 4,1; 4,6; 5,32; 5,7. Погрешность измерения экспериментальных и расчетных данных составляет от 1,5 % до 4,1 %. Расхождение в погрешности измерения можно объяснить неравномерностью распределения скоростей по поперечному сечению потока. При переходе к другим измерительным сечениям погрешность измерений экспериментальных и расчетных значений давления составляет от 3,0 % до 6,0 %, что объясняется неравномерностью оттока массы через перфорированные внутренние стенки сепаратора и изменением сопротивления устройства при разных числах Рейнольдса.

Значительное изменение динамического режима работы сепаратора вызвало необходимость моделирования двухфазных закрученных потоков с целью применения предлагаемого устройства при различных эксплуатационных условиях. Функциональная зависимость выражается уравнением (10)

$$E_U = f(R_e, W_e, \Phi^*), \quad (10)$$

где W_e – число Вебера, Φ^* – интегральный параметр закрученного потока.

При условии движения в сепараторе монодисперсного потока моделирование движения сводится к выполнению условий: $E_U = idem$ и $W_{em} = W_{en}$, где W_{em} – число Вебера для модели; W_{en} – число Вебера для натурального объекта.

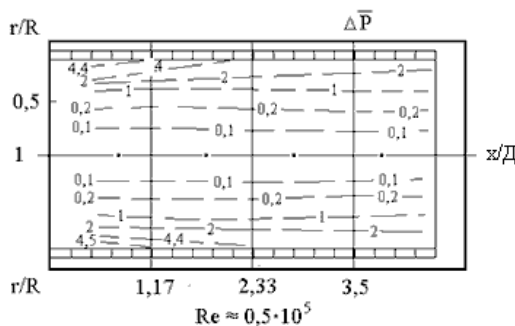


Рисунок 8. Модель распределение давления в потоке

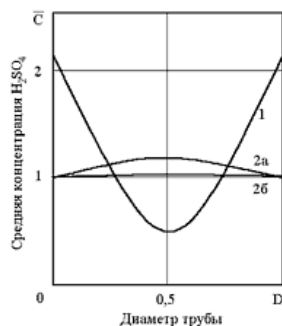


Рисунок 9. Распределение средней концентрации серной кислоты по иаметру трубы: $\bar{c}$ - относительная концентрация H_2SO_4 в потоке, $\bar{c} = c_{\max} / c_{\text{ср}}$, 1 - естественный поток; 2 - поток при установке сепаратора: а - с АЛ – завихрителем, б - с пристеночным завихрителем

Изученные типы сепараторов позволяют получить перераспределение капельной фазы серной кислоты по диаметру трубы таким образом, чтобы достигалось ее равномерное распределение в виде монодисперсного потока как показано на рисунке 9.

В пятой главе «Практическая реализация комплекса «сепаратор-аккумулятор-оптический пылемер» в автоматизированной системе контроля процессов производства серной кислоты на предприятиях цветной металлургии» рассматривается возможность уменьшения выбросов капельной серной кислоты в атмосферу за счет автоматизированного контроля процессов и работы отдельных приборов.

В качестве характеристики потока излучения, проходящего через двухфазный поток, содержащий капельную фазу серной кислоты, была использована зависимость оптической плотности среды D , равной логарифма отношения потока излучения F_0 к ослабленному в результате поглощения и рассеяния потоку F , прошедшему через поток (11)

$$D = \lg \frac{F_0}{F} . \quad (11)$$

Оптическая плотность зависит от набора частот, выражаемых через длину волны, характеризующей исходный поток. Измерения оптической плотности в потоке капельной серной кислоты проводились в соответствии с ГОСТ 4204-77 «Серная кислота. Технические условия». Оптический пылемер работал с длиной волны $\lambda = 530$ нм. Чистота оптики пылемера обеспечивается непрерывной

подачей чистого сжатого воздуха в его внутренний корпус, что предотвращает диффузионное распространение капельной фазы серной кислоты во внутренней части оптического пылемера.

Результаты измерений приведены на рисунке 10. Использование комплексной измерительной системы «сепаратор-аккумулятор-оптический пылемер» позволяет получить линейную зависимость $D=f(C)$, в отличие от явно нелинейной зависимости полидисперсного потока. Экспериментальные данные хорошо согласуются с теоретическим законом Бугера-Ламберта-Бера, из которого получается известная прямая пропорциональность оптической плотности от концентрации. Из данных рисунка 10 видно, что погрешность измерения оптической плотности при полидисперсном и монодисперсном потоках составляет при значении концентрации $C=3 \text{ г/м}^3$, соответственно, 51% и 7%. Получение достоверного сигнала концентрации паров серной кислоты в газоходе при измерении полидисперсного потока производится с применением измерительной пары, в которую входит сепаратор-оптический пылемер, позволяющей производить измерения в стабилизированном монодисперсном потоке. Сепаратор размещается непосредственно в газоходе и в период своей работы формирует в рабочей части и непосредственно за собой струю монодисперсного потока в общем потоке газов. Таким образом в предложенной измерительной схеме, сепаратор выполняет функцию первичного преобразователя, который преобразует сигнал «неудобный» для дальнейшей обработки, в частности полидисперсный поток, в «удобный» сигнал, т.е. в монодисперсный поток. Фокусировка оптической пары пылемера устроена так, что измеряемый телесный угол располагается в центре стабилизированной монодисперсной части потока, поэтому на период измерения обеспечивается достоверная пропорциональная взаимосвязь выходного сигнала, в данном случае оптической плотности, от массовой концентрации паров серной кислоты. Таким образом, линейный вид статической характеристики оптического пылемера позволяет значительно повысить точность измерения концентрации серной кислоты, а также упростить измерительную схему, и следовательно, сделать систему контроля более надежной и недорогой.

Значительные колебания температуры, в течение времени прохождения технологического процесса производства серной кислоты, приводят к существенным колебаниям концентрации основных компонентов пылегазовых потоков. На рисунке 11 показана зависимость концентрации паров серной кислоты от температуры в сушильной башне.

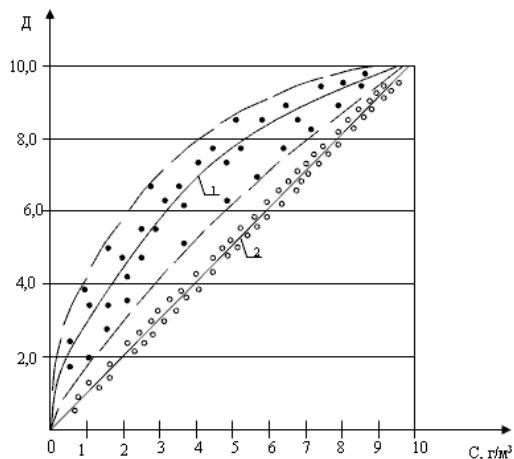


Рисунок 10 . Зависимость оптической плотности капельной фазы серной кислоты от ее концентрации (1 – распределение без применения сепаратора; 2 – распределение с применением сепаратора)

Измерительная схема оптической системы контроля показана на рисунке 12. В результате применения измерительного комплекса сепаратор- оптический пылемер, осуществляется непрерывный контроль за выбросами в атмосферу по всем основным компонентам и появляется возможность непосредственно влиять на содержание паров серной кислоты, SO_2 и SO_3 в отводящих потоках, путем изменения параметров процесса производства серной кислоты, таких как, температуры, качества воды при охлаждении, сушке и изменении технологического режима. При этом происходит более полная нейтрализация токсичных компонентов выбросов.

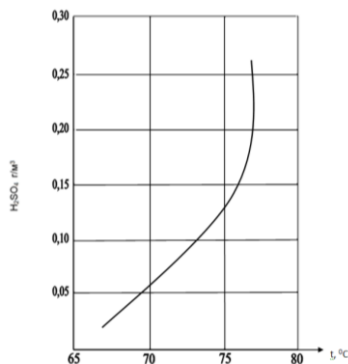


Рисунок 11. Зависимость концентрации серной кислоты на входе в санитарную трубу от температуры в сушильной башне

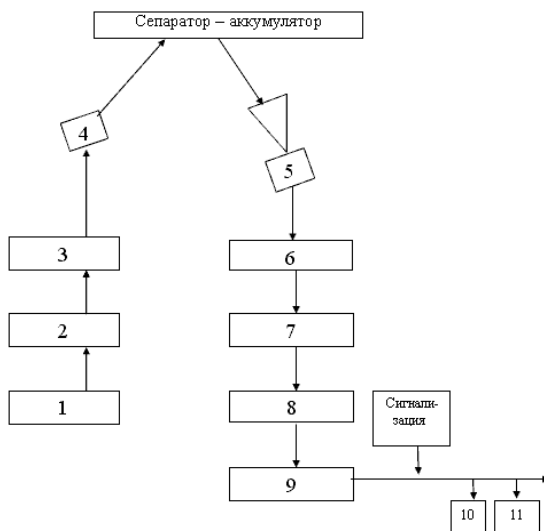


Рисунок 12. Измерительная схема оптической системы контроля (1 – напряжение от сети; 2 – трансформатор; 3 – блок стабилизатора по току; 4 – осветитель 24 ГК; 5 – фотоприемник ФД 24 К; 6 – усилитель тока; 7 – преобразователь в аналоговую форму сигнала; 8,9 – блок дистанционной передачи сигнала; 10 – самописец; 11 – пульт ЭВМ)

Основные результаты и выводы

1. Разработан оптический метод контроля концентрации монодисперсного потока капельной фазы серной кислоты, позволяющий за счет линеаризации статической характеристики оптического пылемера, уменьшить погрешность измерения с 51% до 7%, а также значительно упростить измерительную схему и, следовательно, сделать систему контроля более надежной и недорогой.

2. Для формирования монодисперсного распределения жидкостных фаз в потоке создан аэродинамический стенд, позволяющий исследовать течение двухфазного потока при непрерывном измерении его давления и скорости в различных координатах и определить гидравлическое сопротивление рабочих участков по ходу движения потока.

3. Установлено, что в отходящих газах капельная фаза серной кислоты, имеющая полидисперсный вид, переходит в монодисперсный вид при следующих условиях: в момент направленного формирования потока с числом Рейнольдса в пределах от $Re = 2000$ до $Re = 600000$; в зависимости от типа применяемого завихрителя и размера зоны присоевого пониженного давления; гидравлического сопротивления и от интенсивности и степени закрутки потока сепаратора-аккумулятора.

4. Определены эмпирические зависимости распределения осевой и вращательной составляющей скорости потока, а также распределения давления в потоке по радиусу сепаратора и проведено их расхождение с экспериментальными данными, что составило в среднем 4%.

5. На основе исследований разработаны рекомендации по контролю параметрами технологического процесса получения серной кислоты в зависимости от концентрации H_2SO_4 в потоке.

6. Создана система контроля «сепаратор-оптический пылемер», обеспечивающая непрерывный контроль основных параметров технологического процесса и экологического контроля, которая без значительных доработок может быть использована в промышленных производствах на всех участках перемещения многофазных промышленных потоков газов.

7. Оптическая система контроля «сепаратор-оптический пылемер» внедрена на Лениногорском цинковом заводе, что позволило снизить выброс паров серной кислоты в атмосферу на 20%, увеличить срок службы оборудования, а также улучшить экологическую обстановку в регионе.

8. Результаты диссертационной работы приняты для дальнейшего внедрения на предприятиях цветной металлургии в экологическую программу Восточно-Казахстанской области на 2006-2011 гг.

Основные положения диссертации опубликованы в работах

1. Боченинский В.П., Давыдов Ю.Ф. Гидравлические исследования устройств по разделению и соединению потоков. Материалы научно-технической конференции КАМАЗ-КАМПИ-Набережные челны, КАМПИ, 1990. – С.26.

2. Давыдов Ю.Ф., Колесников А.А. Применение сепараторов-аккумуляторов для формирования двух и многофазных потоков. //Новые строительные технологии. Сборник научных трудов, посвященный 40-летию строительного факультета. Сиб. ГИУ.- Новокузнецк, 2000. – С.277-285.

3. Вишняков С.Н., Седелев В.А., Давыдов Ю.Ф. Стабилизация неочищенных пылегазовых потоков при непрерывном контроле пылегазовых параметров пирометаллургических процессов // Интеграция науки, образования и производства в современных условиях (ВКТУ, 29-31 марта, 2000 г.): Материалы республиканской научно-технической конференции, ВК ТУ. - г.Усть-Каменогорск, 2000. - с.84-85.

4. Давыдов Ю.Ф., Седелев В.А., Вишняков С.Н. Применение сепараторов двухфазных потоков для непрерывного контроля концентрации паров серной кислоты // Вестник ВК ТУ. - 2000. - N 1. - с. 85-89.

5. Седелев В.А., Вишняков С.Н., Давыдов Ю.Ф. Перспективы применения контроля параметров пылегазовых потоков на предприятиях

цветной металлургии // Повышение технического уровня Горно-Металлургических предприятий Казахстана: сб. науч. тр./ ВНИИцветмет. - Усть-Каменогорск, 2000 - 310 с.

6. Седелев В.А., Вишняков С.Н., Давыдов Ю.Ф. Проблемы и решения непрерывного контроля параметров пылегазовых потоков поступающих в атмосферу от предприятий цветной металлургии. // Международная конференция. Научно-технические проблемы рационального потребления воздуха "Воздух Азии – 21 век": Материалы конференции, Алматы, Казахстан, Сентябрь 26-28, - 2000. - С.54-55.

7. Седелев В.А., Вишняков С.Н., Давыдов Ю.Ф. Контроль теплового режима работы отдельных узлов сернокислотного производства предприятий цветной металлургии на основе непрерывного измерения концентрации паров серной кислоты в отходящем потоке. // Меры по борьбе с загрязнением атмосферы. Материалы международного семинара Каз. Гос. Академия им. Рыскулова Т.- Алматы, 2000 г. - С.10.

8. Давыдов Ю.Ф. Контроль процессов производства серной кислоты // Цветные металлы. – 2003. - № 11. – С.92-95.

9. Давыдов Ю.Ф. Оптимизация и контроль производства серной кислоты на предприятиях цветной металлургии. // Труды ВНИИЦветмета. – 2003. - № 1-2, г.Усть-Каменогорск. – С.99-102.

10. Давыдов Ю.Ф. Методы оптимизации контроля концентрации сернистых компонентов в выбросных трубах сернокислотных производств. // Техника и технологии для защиты окружающей среды (4-5 октября, 2005 г.): Материалы международной научно-практической конференции, г.Усть-Каменогорск, 2005 г. – С.97-100.

11. Давыдов Ю.Ф. Измерительная система для контроля параметров производства серной кислоты // Системы. Методы. Технологии. – 2006. – Т. 2, БГУ, Братск. – С. 117-119.

12. Давыдов Ю.Ф. Автоматизация контроля процессов производства серной кислот на предприятиях цветной металлургии // Strategiczne pytania swaitowej nauki – 2009: Materiały V międzynarodowej naukowej konferencji, Przemysl –2009 – S. 3-5.

13. Давыдов Ю.Ф. Оптимизация производства серной кислоты на предприятиях цветной металлургии // Актуальные проблемы строительной отрасли: материалы 2-ой всероссийской конференции НГАСУ (Сибстрим), г. Новосибирск, 2009 г. – С 145-146.

14. Давыдов Ю.Ф., Горбова Г.М. Оптический линейный преобразователь контроля концентрации серной кислоты // Ползуновский вестник. – 2010 – № 2. – С. 113-114.

15. Давыдов Ю.Ф., Горбова Г.М. Конструкция оптической системы контроля процессов производства серной кислоты // Ползуновский вестник. – 2010 – № 2. – С. 102-104.