

На правах рукописи

ЗОТОВ СЕРГЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
УПРАВЛЕНИЯ СУХИМИ ГАЗОЧИСТНЫМИ УСТАНОВКАМИ
АЛЮМИНИЕВЫХ ЗАВОДОВ**

Специальность 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими
процессами и производствами (промышленность)»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Екатеринбург 2011

Работа выполнена на кафедре автоматики и управления в технических системах Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Научный руководитель доктор технических наук, профессор
Лисиенко Владимир Георгиевич

Официальный оппоненты: доктор технических наук, профессор
Казаринов Лев Сергеевич
кандидат технических наук
Кудрявцев Владислав Сергеевич

Ведущая организация ФГУП «НПО Автоматики» имени академика М.А. Семихатова
(г. Екатеринбург)

Защита состоится «29» июня 2011 года в ___ часов на заседании диссертационного совета Д212.298.03 при Южно–Уральском государственном университете по адресу: 454080 г. Челябинск. пр. Ленина, 76.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Южно–Уральского государственного университета.

Автореферат разослан «29» мая 2011 года.

Ученый секретарь диссертационного совета
Д 212.298.03 при Южно-Уральском
государственном университете, д.т.н.



С.Г. Некрасов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Большая часть окружающей человека среды несет на себе следы его производственной деятельности. Особенно остро стоит вопрос о защите воздушного бассейна: токсины в газообразной мелкодисперсной аэрозольной форме выбрасываются в верхние слои атмосферы без обезвреживания, разносятся воздушными потоками на значительные расстояния, пагубно влияя на состояние фауны и флоры.

Крупномасштабными источниками этого загрязнения являются предприятия цветной металлургии. В связи с вышеизложенным, возникает необходимость в решении проблем промышленных предприятий в области газоочистки, экологии и, в частности, повышении уровня автоматизации технологических процессов, внедрении современных средств АСУТП и КИП. Эти проблемы решаются созданием газоочистных установок и последующей их автоматизацией.

В последнее время часто применяется сухой метод очистки газов, который осуществляется в низконапорном реакторе с взвешенным слоем частиц глинозема и рукавном фильтре, что обеспечивает улавливание фторидов, пыли и полициклических ароматических углеводородов. Наибольшее распространение сухого метода обусловлено двумя обстоятельствами. Во-первых, для мокрого способа очистки требуется большое количество воды и связанное с этим дорогостоящее и занимающее большие площади шламовое хозяйство. Во-вторых, улавливаемую сухим способом пыль гораздо легче утилизировать, чем шламовую пульпу, образующуюся при мокром способе.

Способы управления сухими газоочистными установками алюминиевых заводов, описанные в работах таких авторов, как Ладыгичев М.Г., Старк С.Б., Мазус М.Г., Dawson P.R. позволяют осуществлять управление, как правило, с непосредственным участием человека, что ставит управляющую систему в зависимость от его своевременного вмешательства. От этого может зависеть не только исправность аппаратных средств, но и качество очистки газов, поступающих с производства.

Поэтому существует необходимость в разработке алгоритмического обеспечения для автоматического управления сухой газоочистной установкой, наиболее полно отвечающего требуемым параметрам и режимам работы технологического оборудования, предъявляемым его производителями, то есть в соответствии с технологией очистки производственных газов.

Целью работы является разработка алгоритмов управления, с использованием математических моделей, позволяющих в рамках автоматизированных систем управления технологическим процессом сухой газоочистки для алюминиевых заводов повысить энерго-экологические показатели производства алюминия, снизить концентрации вредных выбросов в атмосферу и, как результат, улучшить экологическую обстановку в промышленных зонах.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- 1) Проведение анализа математических моделей, выражающих условия улавливания мелкодисперсных пылей алюминиевого производства на рукавных фильтрах;
- 2) Проведение сопоставительного анализа экспериментальных данных процесса улавливания мелкодисперсных пылей и соответствующих модельных расчетов с целью оценки возможности применения моделей при решении задач автоматического управления рукавными фильтрами;
- 3) Разработка математической модели зависимости периода между регенерациями рукавных фильтров от перепада давления на них;
- 4) Разработка алгоритмов автоматического управления и диагностики регенерации рукавных фильтров;
- 5) Разработка программного обеспечения системы автоматического управления и диагностики регенерации рукавных фильтров;
- 6) Разработка технического обеспечения системы автоматического управления и диагностики регенерации рукавных фильтров;
- 7) Внедрение разработанной системы автоматического управления технологическим процессом регенерации рукавных фильтров в рамках АСУ ТП сухой газоочистной установки ОАО «БАЗ – СУАЛ»;
- 8) Проведение энерго-экологического анализа процесса удаления газов при электролизе алюминия с использованием системы автоматического управления регенерацией рукавных фильтров.

Объектом исследования является технологический процесс удаления электролизных газов при производстве алюминия.

Предметом исследования являются автоматизированные системы управления технологическим процессом удаления электролизных газов при производстве алюминия.

Методика исследования в основу методики исследования положены труды российских и зарубежных ученых по автоматизированному управлению технологическим процессом удаления электролизных газов при производстве алюминия.

Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем:

- разработана математическая модель с использованием экспериментальных данных, для автоматического управления регенерацией рукавных фильтров;
- разработаны алгоритмы автоматического управления технологическими процессами сухой газоочистной установки;
- разработана система автоматического управления рукавными фильтрами на основе новых алгоритмических решений в

соответствии с используемой технологией процесса очистки электролизных газов.

Практическая значимость работы. Разработанные алгоритмы и программы системы автоматического управления технологическим процессом регенерации рукавных фильтров реализованы с участием автора на сухой газоочистной установке 6 серии электролизного цеха БАЗа.

На защиту выносятся следующие основные результаты:

- способ управления регенерацией рукавных фильтров;
- алгоритмы программ автоматического управления и диагностики системы управления регенерацией рукавных фильтров;
- результаты энерго – экологического анализа процесса удаления газов при электролизе алюминия с использованием системы автоматического управления регенерацией рукавных фильтров.

Апробация работы. Основные положения работы были доложены на региональной X юбилейной научно – практической конференции “Алюминий Урала – 2005”(2005), на региональной XI научно-практической конференции Алюминий Урала – 2006”(2006), на 2 научно-технической конференции молодых специалистов “БАЗ – СУАЛ”(2006), на международной научной конференции “информационно – математические технологии в экономике, технике и образовании”(2006), на VI всероссийской научно – практической конференции “AS’2007” «Системы автоматизации в образовании, науке и производстве» (посвящается 100-летию со дня рождения профессора Масловского П.М.)(2007).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 14 научных работ, из них две работы в рецензированных изданиях, рекомендуемых ВАК.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, приложения и списка используемой литературы. Работа выполнена на 147 страницах, в том числе содержащих 40 иллюстраций, 16 таблиц, библиографический список на 66 наименований работ.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во Введении обоснована актуальность выбранной темы диссертационной работы, изложены основные положения, выносимые на защиту, сделан краткий обзор по главам диссертации.

В первой главе диссертации приведена характеристика автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) сухой газоочистки, показанную на рис. 1, в которую будет добавлена подсистема – система автоматического управления регенерацией рукавных фильтров. Выделим в системе автоматического управления регенерацией рукавных фильтров 3 уровня, связанные между собой: нижний (уровень исполнительных механизмов и датчиков АСУ ТП), средний (уровень контроллеров и станций распределенной периферии) и верхний (уровень автоматизированных рабочих мест (АРМ) и систем диспетчерского управления и сбора данных (SCADA)).

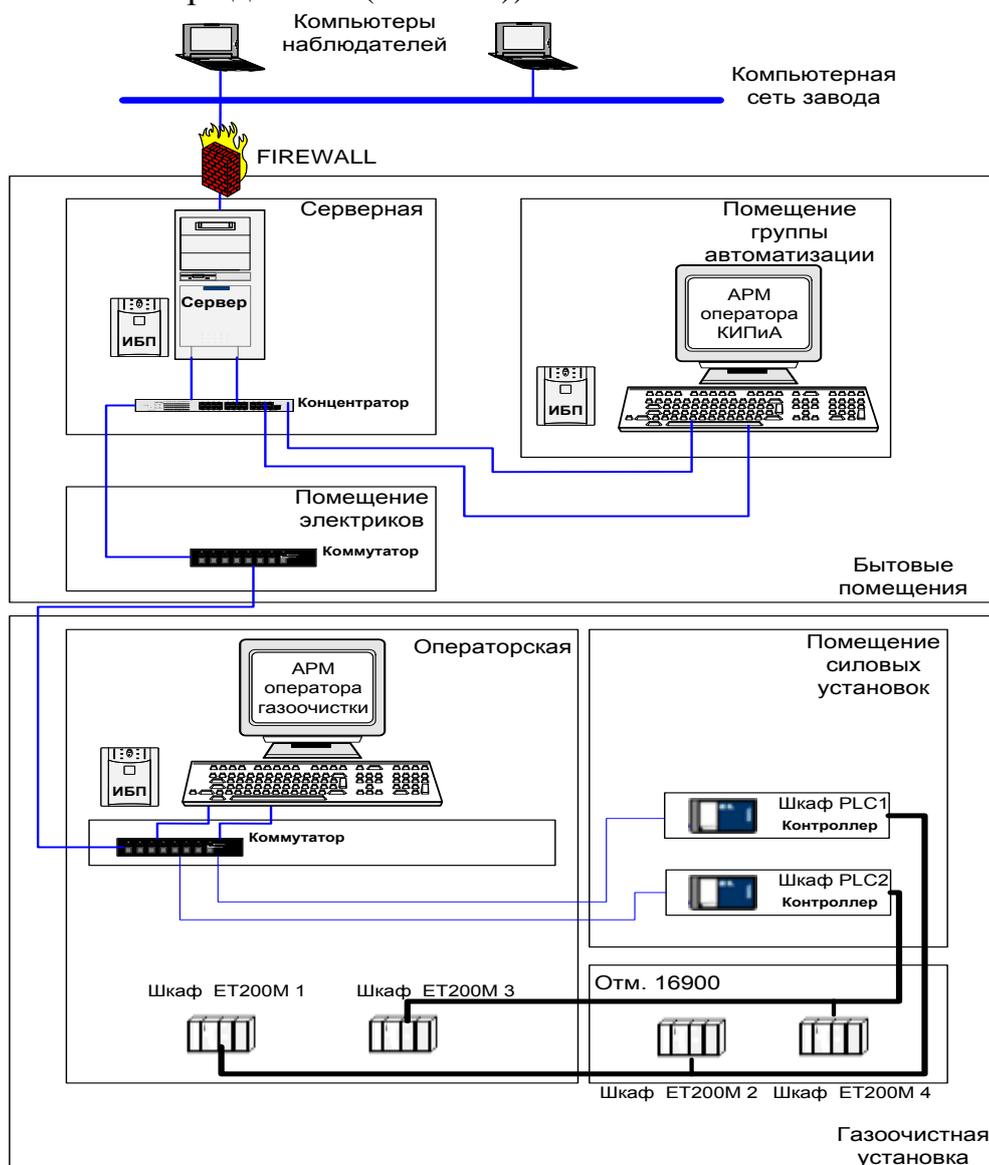


Рис. 1. Комплекс программно – технических средств (КПТС) АСУ ТП сухой газоочистки

Нижний уровень системы автоматического управления регенерацией рукавных фильтров

Этот уровень представлен метрологическим обеспечением – средствами измерения и контроля технологических параметров, а также исполнительными механизмами, электрическими устройствами согласования со средним уровнем. Контроль осуществляется с помощью датчиков промышленной группы «Метран».

Средний уровень системы автоматического управления регенерацией рукавных фильтров

Аппаратно данный уровень контроллеров и станций распределенной периферии представлен КПТС на базе контроллера SIMATIC S7-300 (CPU316-2DP) и станций ET200M, фирмы SIEMENS. Прием и выдача сигналов с датчиков, с и на управляющие механизмы осуществляется с помощью аналоговых сигнальных модулей ввода SM 331 и дискретных сигнальных модулей ввода SM 321 и вывода SM 322. Связь осуществляется по сети Profibus DP.

Программно этот уровень представлен пакетом Step 7 версии 5.1 фирмы Siemens.

Верхний уровень системы автоматического управления регенерацией рукавных фильтров

Аппаратно данный уровень представлен, КПТС на базе промышленных компьютеров и сервера. Промышленные компьютеры и сервер предназначены для сбора и компьютерной обработки данных, а также их накопления, решения задач управления, визуализации и архивации. Связь промышленных компьютеров, сервера и программируемых контроллеров PLC осуществляется по шине Industrial Ethernet.

Программно данный уровень представлен:

- Системой диспетчерского управления и сбора данных (SCADA) WinCC версии 5.1 фирмы Siemens, далее именуемой система WinCC;
- Операционными системами Windows 2000 Professional и Windows 2000 Server фирмы Microsoft;
- BlackICE PC Protection фирмы Internet Security Systems.

Задача визуализации сводится к задаче индикации технологических параметров системы автоматического управления регенерацией фильтров (заданных и фактических), режимов работы и сигналов от технологических датчиков на панели оператора или мониторе АРМа оператора, а также к сигнализации о состоянии технологического процесса (нормальная работа, аварийное и предаварийное состояние, отказы технических или программных средств).

Визуальная часть нарисована в графическом редакторе системы WinCC – Graphics Designer. Она состоит из мнемосхем.

Все мнемосхемы доступны для просмотра без авторизации. Для полноценного доступа для просмотра и управления в качестве оператора

газоочистного комплекса необходимо ввести имя и пароль. Это позволяет закрыть неавторизованным пользователям доступ к функциям управления технологическими процессами, изменению режима, технологических параметров, осуществить разграничение доступа к системе.

Для архивирования технологических параметров используется встроенный инструмент TagLogging, являющийся частью системы WinCC.

База данных gaz_bazRT создана с использованием прилегающей к системе WinCC СУБД – Sybase SQL Anywhere, фирмы Watcom. Встроенное средство системы WinCC – WinCC Online Trend Control – позволяет вывести график по интересующим технологическим параметрам, за нужный период времени.

Рассмотрены используемые технологии очистки производственных газов и общие характеристики, режимные параметры технологического процесса фильтрации газа.

Процесс регенерации фильтров является одним из основных технологических процессов “сухой” очистки газов, поскольку именно в рукавных фильтрах осуществляется разделение твёрдой и газообразных фаз при фильтрации пылегазовой смеси через фильтрующую перегородку. При фильтрации фторсодержащих газов через слой глинозёма на нетканом материале завершается процесс улавливания фтористого водорода оксидом алюминия. Очистка (регенерация) рукавов – импульсная, производится с помощью сжатого воздуха. Одновременно отряхивается один ряд рукавов. Сжатый воздух для регенерации с давлением подается в ресивер рукавного фильтра, установленный перед каждым рукавным фильтром. Пыль с рукавов периодически стряхивается пневматическими импульсами, создаваемыми электропневматическими клапанами по сигналу от микропроцессорного управляющего устройства с частотой, зависящей от величины гидравлического сопротивления фильтра. Пыль, удаленная с рукавов, осаждается в бункере, ссыпается на тканевую перегородку аэрожелоба фильтра.

Анализ литературных данных показал, что чаще всего на практике регенерация рукавов в рукавном фильтре производится автоматически: либо при достижении критического перепада давления, либо в результате срабатывания реле времени, как представлено на рис. 2.

Также для технических расчетов тканевых рукавных фильтров при улавливании грубых пылей А.С. Мандрико и И.Л. Пейсаховым был предложена математическая модель, выражающая зависимость между перепадом давления на рукавном фильтре и продолжительностью периода между регенерациями.

И в том, и в другом случае автоматизация процесса регенерации рукавов осуществляется путем оптимизации опытной зависимости между сопротивлением рукавного фильтра и временем межрегенерационного периода.

Существенное влияние на качество очистки, на длительность эксплуатации оказывает соответствие периода между регенерациями

перепаду давления на рукавном фильтре. Поэтому работа системы регенерации рукавных фильтров согласно схемам регенерации изображенных на рис. 2 малоэффективна, так как не учитывает состояние запыленности рукавов.

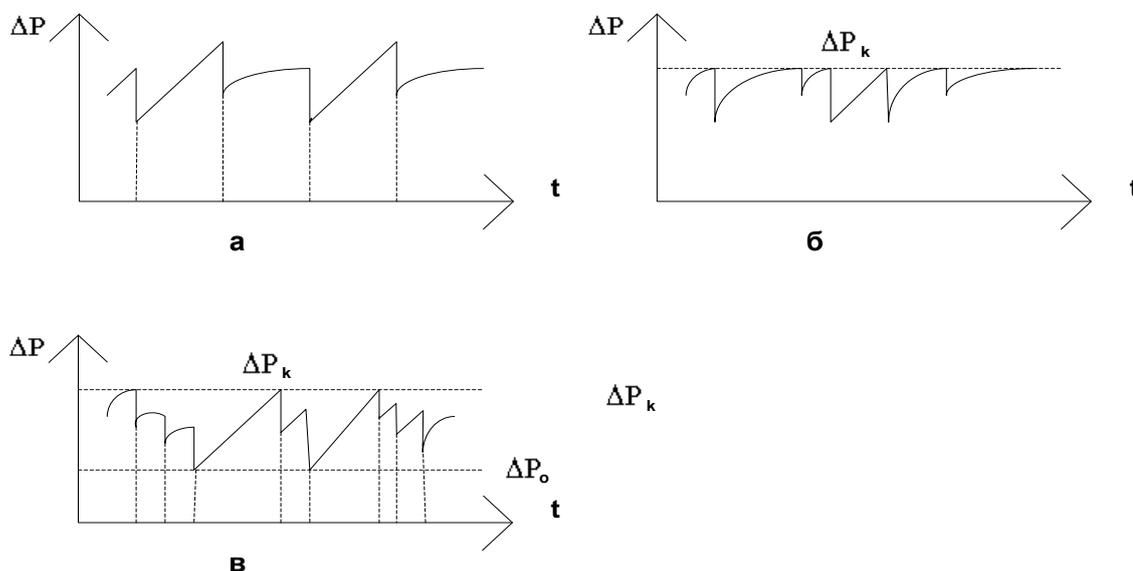


Рис. 2. Схема регенерации фильтра: а – временная; б – с фиксацией верхнего уровня перепада давления; в – с фиксацией верхнего и нижнего уровней перепада давления

Таким образом, требуется провести анализ, и модели Мандрико и Пейсахова, и анализ экспериментальных данных графиков фильтров, после чего сравнить расчеты по модели Мандрико и Пейсахова с результатом анализа экспериментальных графиков фильтров. Это позволит разработать модель управления регенерацией рукавных фильтров, выражающую зависимость периода между регенерациями от перепада давления на рукавном фильтре.

На основе модели требуется разработать алгоритмы программ автоматического управления и диагностики системы автоматического управления регенерацией рукавных фильтров. И далее реализовать их при создании системы автоматического управления технологическим процессом регенерации рукавных фильтров.

Также по результатам эксплуатации газоочистной установки необходимо провести энерго-экологический анализ процесса удаления газов при электролизе алюминия с использованием системы автоматического управления регенерацией рукавных фильтров, в соответствии с методикой полного (сквозного) энерго-экологического анализа, разработанного в УГТУ – УПИ, под руководством В.Г. Лисиенко.

Во второй главе приведены анализ, и модели Мандрико и Пейсахова, и экспериментальных графиков фильтров. Произведено сравнение результатов анализов. Разработана модель управления регенерацией

рукавных фильтров для автоматизированного управления процессом, в зависимости от перепада давления на рукавном фильтре.

Гидравлическое сопротивление фильтровальной перегородки (Па) может быть представлено суммой двух слагаемых:

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2 = (A \mu w) + (B \mu Z w^2) t, \quad (1)$$

где ΔP_1 – постоянное сопротивление самой фильтровальной перегородки с учетом пыли, оставшейся на ней после регенерации, Па;

ΔP_2 – переменное сопротивление накапливающегося на фильтровальной перегородке слоя пыли, удаляемого с нее в процессе регенерации, Па;

A – коэффициент сопротивления фильтровальной перегородки с слоем пыли, оставшейся на ней после регенерации, m^{-1} ;

B – коэффициент сопротивления слоя пыли, м/кг;

μ – динамический коэффициент вязкости газа, Па·с;

Z – запыленность газа перед фильтром при рабочих условиях, kg/m^3 ;

w – скорость фильтрования, м/с;

t – время, с.

В модели (1) численные значения коэффициентов A и B определяются опытным путем.

Для ориентировочных подсчетов путем обработки экспериментального материала для частиц с $d_m \leq 20$ мкм были получены следующие значения коэффициентов A и B .

Коэффициенты A и B (ткань – лавсан арт. 217)

Таблица 1

	d_m (мкм)	A (m^{-1})	B (м/кг)	Вид пыли
1	0,5 – 0,7	$(13000 - 15000) \cdot 10^6$	$330 \cdot 10^9$	кремниевая, возгонная
2	2,5 – 3,0	$(2300 - 2400) \cdot 10^6$	$80 \cdot 10^9$	сталеплавильная, возгонная
3	10 – 20	$(1100 - 1500) \cdot 10^6$	$(6,5 - 16) \cdot 10^9$	кварцевая, цементная

Исследования показали, что чем мельче частицы улавливаемой пыли, тем выше коэффициенты A и B .

В формуле (1) численные значения коэффициентов A и B определяются только опытным путем. Для технических расчетов тканевых рукавных фильтров при улавливании грубых пылей (с $d_m > 20$ мкм) А.С. Мандрико и И.Л. Пейсаховым была предложена модель:

$$\Delta P = \frac{817 \mu w (1 - \varepsilon_{II})}{d_m^2 \varepsilon_{II}^3} \left[0,82 \times 10^{-6} d_m^{0,25} \varepsilon_T^3 (1 - \varepsilon_{II}) h_0^{2/3} + \frac{zwt}{\rho} \right], \quad (2)$$

где d_m – средний (медианный) размер частиц пыли, м;

ε_T – пористость ткани, доли единиц;

ε_{II} – пористость пыли, доли единиц; $\varepsilon_{II} = 1 - 79 d_m^{0,47}$;

h_0 – удельное гидравлическое сопротивление чистой ткани, Па;

ρ - плотность частиц пыли, кг/м³;
 t – время между регенерациями, с.

Исходя из модели (2), получаем $\Delta P = (A \dot{V} \mu w) + (B \dot{V} \mu Z w^2) t$,

$$A_M = 670 \times 10^{-6} \frac{(1 - \varepsilon_{II})^2 \varepsilon_T^3 h_0^{2/3}}{d_m^{1,75} \varepsilon_{II}^3}, \quad (3)$$

$$B_M = 817 \frac{(1 - \varepsilon_{II})}{d_m^2 \varepsilon_{II}^3 \rho}. \quad (4)$$

В формулах (3), (4) и ниже M – означает, что коэффициенты A и B определяются из модели Мандрико и Пейсахова (2).

Определение возможности применения формул для вычисления коэффициентов A_M и B_M для расчетов рукавных фильтров при улавливании пылей с $d_m \leq 20$ мкм.

Из проведенного в диссертации анализа функций $A_M = f_1(d)$ и $B_M = f_2(d)$ и сопоставления значений коэффициентов A и B из табл. 1 с коэффициентами A_M и B_M рассчитанными по формулам (3) и (4) при одинаковых размерах частиц d получено, что в промежутке $0,5 \leq d \leq 10$ мкм есть возможность использовать формулы (3) и (4), согласовав их с опытными данными табл. 1.

В нашем случае средний размер частиц пыли $d_m = 5$ мкм из табл. 1 берем строку 2 с $d_m = 2,5 - 3,0$ мкм близким к нашему. Из строки 2 имеем:

$$\overline{d_o} = \frac{(2,5 + 3,0)}{2} = 2,75 \text{ мкм}; \quad \overline{A_o} = \frac{(2300 + 2400) \cdot 10^6}{2} = 2350 \cdot 10^6 \text{ (м}^{-1}\text{)}.$$

Тогда по формуле (3) при $d = \overline{d_o}$: $A_{M_o} = 378 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}$. Получено $A_{M_o} = 378 \cdot 10^6 \neq \overline{A_o} = 2350 \cdot 10^6$. Согласуем A_{M_o} и $\overline{A_o}$.

$$\overline{A_o} = C_A \cdot A_{M_o} \Rightarrow C_A = \overline{A_o} / A_{M_o} = 2350 \cdot 10^6 / 378 \cdot 10^6 = 6,22.$$

$C_A = 6,22$ – поправочный коэффициент для A_M .

Принимаем, что в некоторой окрестности т. $\overline{d_o} = 2,75$ мкм (куда входит и т. $d = 5$ мкм) формула $A = C_A \cdot A_M$ для определения коэффициента A в формуле (1) верна.

По формуле (4) при $d = \overline{d_o}$ $B_{M_o} = 9,88 \cdot 10^9 \text{ м/кг}$.

Получено $B_{M_o} = 9,88 \cdot 10^9 \neq \overline{B_o} = 80 \cdot 10^9$; Согласуем B_{M_o} и $\overline{B_o}$.

$$\overline{B_o} = C_B \cdot B_{M_o} \Rightarrow C_B = \overline{B_o} / B_{M_o} = 80 \cdot 10^9 / 9,88 \cdot 10^9 = 8,1.$$

$C_B = 8,1$ – поправочный коэффициент для B_M .

Принимаем, что в некоторой окрестности точки $\overline{d_o} = 2,75$ мкм (куда входит и точка $d = 5$ мкм) формула $B = C_B \cdot B_M$ для определения коэффициента B в формуле (1), верна.

Из формулы (1) при $A = C_A \cdot A_M$ и $B = C_B \cdot V_M$ получаем

$$\Delta P_M = (C_A A_M \mu w) + (C_B V_M \mu Z w^2) t. \quad (5)$$

Обозначим $a = C_A A_M \mu w$; $b = C_B V_M \mu Z w^2$ тогда

$$\Delta P_M = a + b \cdot t. \quad (6)$$

В этом уравнении прямой a – свободный член. Начальная точка прямой ($a = \Delta P$ при $t = 0$) b – угловой коэффициент прямой.

Находим значения коэффициентов a и b в формуле (6) для нашего случая: $d=5$ мкм; ε_T ; h_o – для иглопробивного фильтровального полотна табл. 2.1 (Д); скорость фильтрования $w_1 = 1,3$; $w_2 = 1,5$:

$$a_1 = 908 \text{ Па } b_1 = 6,85 \text{ Па/мин}$$

$$a_2 = 1047 \text{ Па } b_2 = 9,12 \text{ Па/мин}$$

Т.о. получены линейные функции:

$$\Delta P_1 = a_1 + b_1 \cdot t = 908 + 6,85 \cdot t \quad \text{при} \quad w_1 = 1,3 \text{ м/мин;}$$

$$\Delta P_2 = a_2 + b_2 \cdot t = 1047 + 9,12 \cdot t \quad \text{при} \quad w_2 = 1,5 \text{ м/мин.}$$

Графики этих функций прямые линии строим по 2 точкам, рис. 3.

Для определения функциональной зависимости гидравлического сопротивления (ΔP) фильтра от времени (t), рассмотрим экспериментальные графики, снятые на каждом 21 работающем фильтре. Каждый экспериментальный график имеет два участка. 1 участок – регенерация включена. Автоматика поддерживает ΔP в фильтре приблизительно на одном уровне. 2 участок – регенерация отключена. В это время ΔP в фильтре растет.

Каждый участок экспериментального графика имеет вид ломаной линии отрезки, которой соединяют точки $(t_i; \Delta P_i)$ $i = \overline{1, N}$ через одну минуту. N – число точек, рассматриваемых на участке. В диссертации дан подробный анализ графика фильтра 10. При анализе получено, что зависимость ΔP от t функциональная линейная и на 2 участке с отключенной регенерацией имеет вид: $\Delta P_{10} = 998 + 7,5 \cdot t = a_{10} + b_{10} \cdot t$.

Аналогично были найдены линейные функции и для остальных фильтров $\Delta P_k = a_k + b_k \cdot t$ $k = \overline{1, 24}$ ($k \neq 6, 9, 22, 10$). Построены графики этих функций, рис. 4.

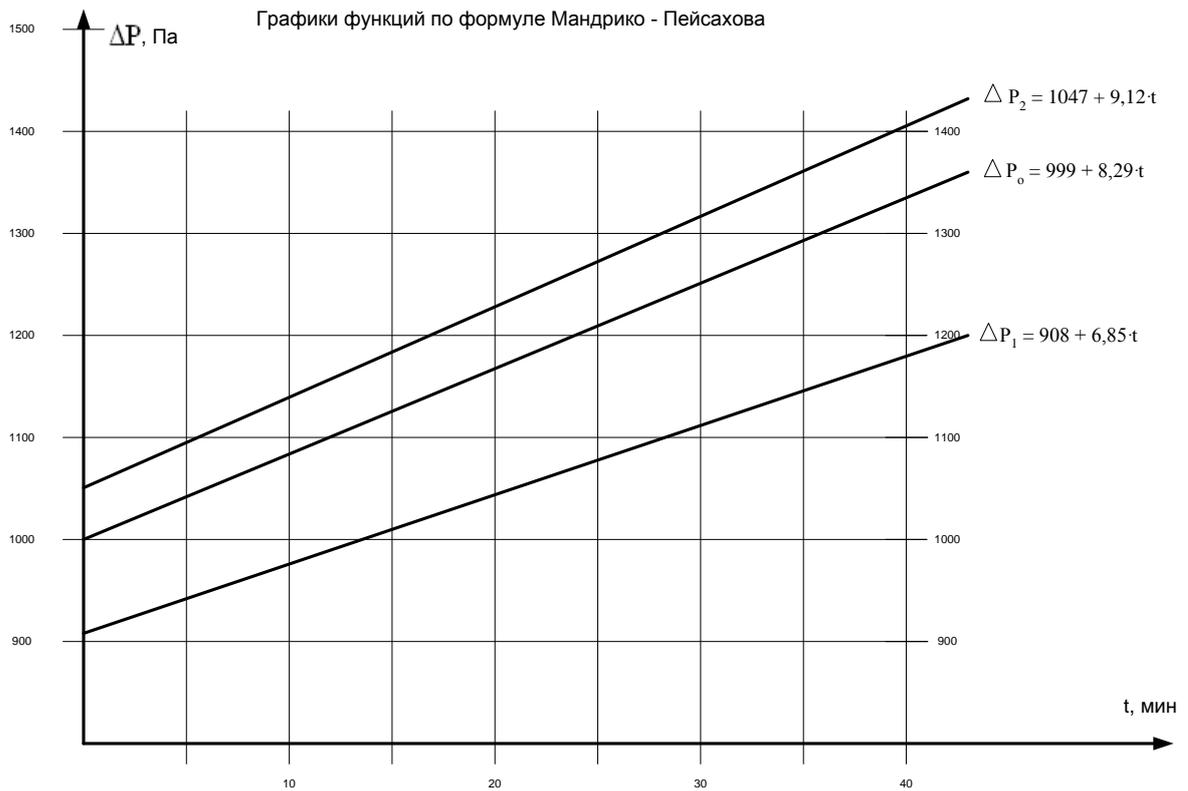
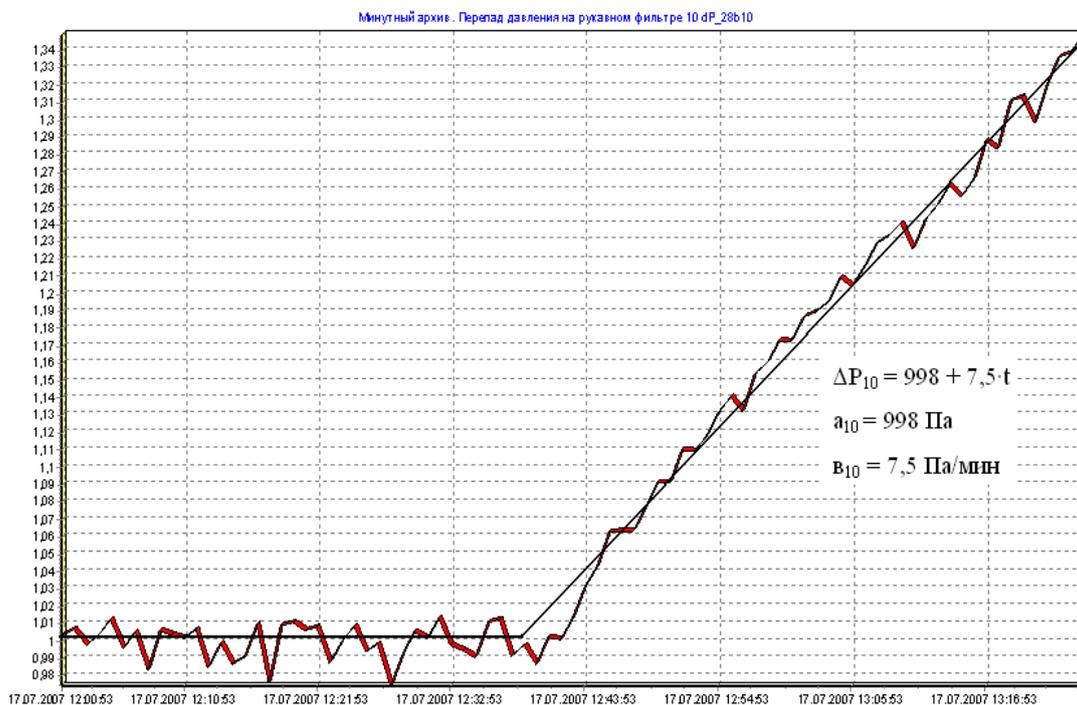


Рис. 3. Графики функции $\Delta P_M = a + v \cdot t$



Распечатано 17.07.2007 13:53:27

Рис. 4. График функции $\Delta P_{10} = 998 + 7,5 \cdot t$ (на экспериментальном графике рукавного фильтра № 10)

Для сопоставления результатов полученных при анализе экспериментальных графиков с результатами полученными при

использовании модели Мандрико и Пейсахова (с поправочными коэффициентами $C_A=6,22$ и $C_B=8,1$), формула 5, определены средние значения коэффициентов a и b , и найдены:

1. Средняя функция $\Delta P_M = f(t)$ при расчете по модели Мандрико и Пейсахова.

$$\overline{\Delta P_M} = \overline{a_M} + \overline{b_M} \cdot t = 978 + 7,96 \cdot t \text{ Па.}$$

2. Средняя функция $\overline{\Delta P_{\text{Э}}} = f(t)$ при расчете по экспериментальным графикам фильтров.

$$\overline{\Delta P_{\text{Э}}} = \overline{a_{\text{Э}}} + \overline{b_{\text{Э}}} \cdot t = 985 + 7,48 \cdot t \text{ Па.}$$

Сопоставлены средние функции $\overline{\Delta P_M} = f(t)$ и $\overline{\Delta P_{\text{Э}}} = f(t)$.

Определено, что $\overline{a_M} < \overline{a_{\text{Э}}}$ на 0,7 %

$$\overline{b_M} > \overline{b_{\text{Э}}} \text{ на } 6,4 \text{ \%}$$

То есть $\overline{\Delta P_M}(1) < \overline{\Delta P_{\text{Э}}}(1)$ на 0,7 % при $t = 1$ мин.

То есть $\overline{\Delta P_M}(5) < \overline{\Delta P_{\text{Э}}}(5)$ на 0,4 % при $t = 5$ мин.

Вывод: из сравнения результатов расчета по модели Мандрико – Пейсахова (с поправочными коэффициентами) с результатом анализа экспериментальных графиков 21 фильтра, следует, что оба способа определения зависимости $\Delta P = f(t)$ достаточно хорошо согласуются друг с другом.

Построены графики средних функций $\overline{\Delta P_M} = f(t)$ и $\overline{\Delta P_{\text{Э}}} = f(t)$, рис. 5.

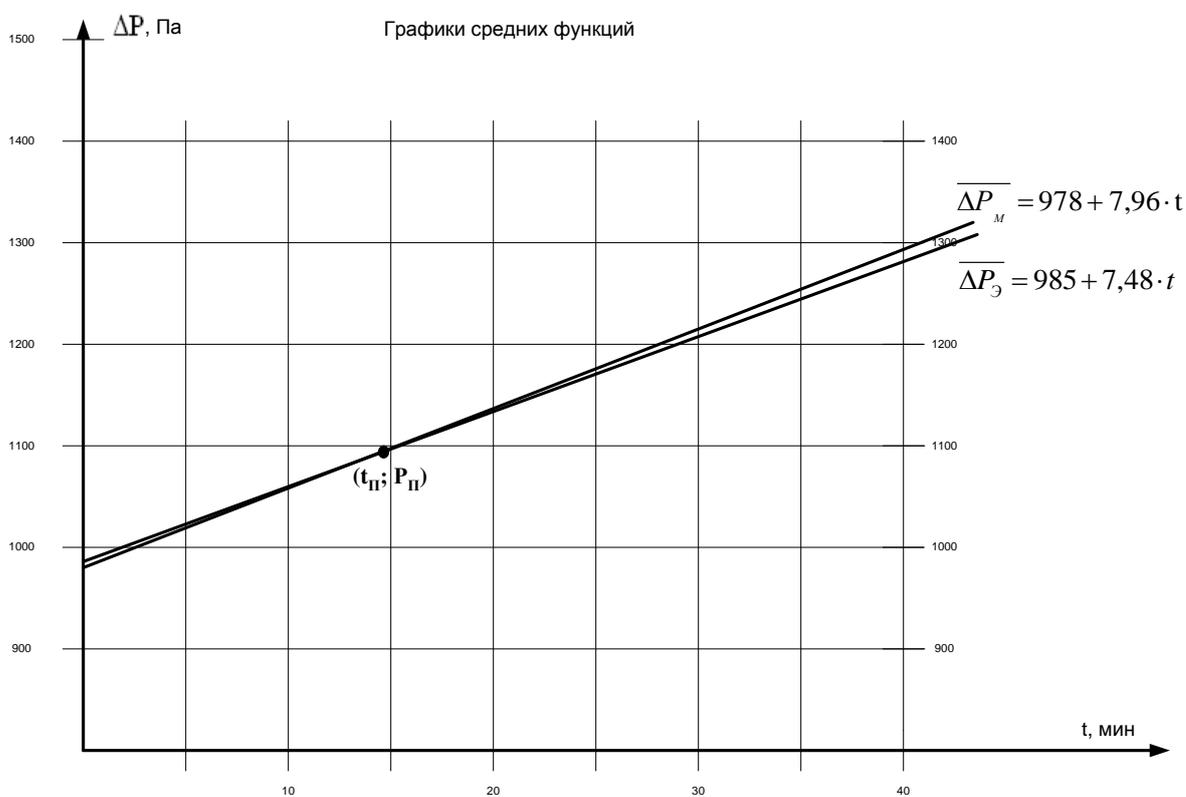


Рис. 5. Графики средних функций

Из модели Мандрико и Пейсахова, формула 5, при заданном перепаде давления до и после фильтра можно найти необходимую продолжительность периода между регенерациями, то есть продолжительность периода фильтрования.

$$t_{\phi} = \frac{\frac{\Delta P}{\mu \cdot w} - A}{B \cdot w \cdot z} = \frac{\frac{\Delta P}{\mu \cdot w} - C_A \cdot A_M}{C_B \cdot B_M \cdot w \cdot z}.$$

При ΔP больше или меньше некоторой оптимальной величины $\Delta P_{\text{опт}}$ эффективность работы фильтра уменьшается из – за нарушения целостности фильтрующего пылевого слоя.

Оптимальной величине $\Delta P_{\text{опт}}$ соответствует оптимальная продолжительность межрегенерационного периода. Промежуток времени между импульсами на регенерацию ($t_{\text{и}}$) определяется только экспериментально. В нашем случае для заданного перепада давления на фильтре 900 – 1200 Па опытным путем были найдены соответствия:

$\Delta P_{\text{min}} = 900 \rightarrow t_{\text{и,max}} = 300 \text{ c}$	Таким образом получены две точки
$\Delta P_{\text{max}} = 1200 \rightarrow t_{\text{и,min}} = 60 \text{ c}$	

$(\Delta P_{\text{min}}; t_{\text{и,max}}) = (900; 300)$ и $(\Delta P_{\text{max}}; t_{\text{и,min}}) = (1200; 60)$ (Па; с).

Находим функцию $t_{\text{и}} = f(\Delta P)$ при $\Delta P_{\text{min}} \leq \Delta P \leq \Delta P_{\text{max}}$ принимая, что зависимость $t_{\text{и}}$ от ΔP линейная. Получено:

$$t_{\text{и}} = t_{\text{и,max}} - (t_{\text{и,max}} - t_{\text{и,min}}) \cdot \frac{\Delta P - \Delta P_{\text{min}}}{\Delta P_{\text{max}} - \Delta P_{\text{min}}}. \quad (7)$$

Подставив значения получим:

$$t_{\text{и}} = f(\Delta P) = 1020 - 240 \left(\frac{\Delta P}{300} \right).$$

Было принято:

При $\Delta P < \Delta P_{\text{min}} = 900 \rightarrow t_{\text{и}} = t_{\text{и,max}} = 300 \text{ c}$. ΔP (Па); t (с)

При $\Delta P > \Delta P_{\text{max}} = 1200 \rightarrow t_{\text{и}} = t_{\text{и,min}} = 60 \text{ c}$.

Таким образом, была получена составная функция:

$$(8) \quad t_{\text{и}} = f(\Delta P) = \begin{cases} t_{\text{и,min}} = 60 & ; \Delta P > 1200 & ; \\ 1020 - \frac{240 \cdot \Delta P}{300}; & 900 \leq \Delta P \leq 1200 & ; \Delta P \text{ (Па); } t(\text{с}). \\ t_{\text{и,max}} = 300 & ; \Delta P < 900 & ; \end{cases}$$

Если $t_{\text{и}}$ в минутах, то получим:

$$(9) \quad t_{\text{и}} = f(\Delta P) = \begin{cases} t_{\text{и,min}} = 1 & ; \Delta P > 1200 & ; \\ 17 - \frac{4 \cdot \Delta P}{300}; & 900 \leq \Delta P \leq 1200 & ; \Delta P \text{ (Па); } t(\text{мин}). \\ t_{\text{и,max}} = 5 & ; \Delta P < 900 & ; \end{cases}$$

Соотнесены графики функций $t_{и} = f_{и}(\Delta P)$ и $\overline{\Delta P_M} = f_M(t)$.

Изображаем графики составной функции $t_{и} = f_{и}(\Delta P)$ и средней функции $\overline{\Delta P_M} = f_M(t)$ в одной системе координат. Графики функций строим по двум точкам каждый. На графике функции $\overline{\Delta P_M} = 978 + 7,96 \cdot t$ отмечен интервал оптимальных значений ΔP : (986; 1018)Па. При $\Delta P < 986$ (Па) и $\Delta P > 1018$ (Па) эффективность работы фильтра уменьшается из – за нарушения целостности фильтрующего пылевого слоя.

Точка пересечения графиков функций $t_{и} = f_{и}(\Delta P)$ и $\overline{\Delta P_M} = f_M(t)$ в интервале оптимальных значений ΔP определяет то значение $\Delta P_{опт}$, которое будет поддерживать (в среднем) автоматика фильтра. Решая систему уравнений, получим: $\Delta P_{опт} = 1006,5 \text{ Па}$.

Таким образом, в данном пункте функции $t_{и} = f_{и}(\Delta P)$ и $\overline{\Delta P_M} = f_M(t)$ применены для определения:

1. промежутка оптимальных давлений эффективной работы фильтра;
2. оптимального давления $\Delta P_{опт}$ (из оптимального промежутка), которое будет поддерживаться в фильтре.

В общем случае при $\Delta P_M = a + b \cdot t \neq \Delta P_1$, где $a = C_A A_M \mu w$; $b = C_B B_M \mu Z w^2$. Границы оптимальных давлений эффективной работы фильтра определяются по формулам:

$$1) \text{ нижняя граница: } t = t_{и\min} = 1 \text{ мин} \Rightarrow \Delta P(1) = a + b \cdot 1;$$

$$2) \text{ верхняя граница: } t = t_{и\max} = 5 \text{ мин} \Rightarrow \Delta P(5) = a + b \cdot 5.$$

Оптимальное давление, которое автоматика будет поддерживать в фильтре, определим из системы:

$$\begin{cases} \Delta P_M = a + b \cdot t \text{ из уравнения 1 системы} & t = \frac{\Delta P_M - a}{b}; \\ t = 17 - \frac{4 \Delta P}{300} \text{ подставим в уравнение 2, получим при } \Delta P_M = \Delta P : \end{cases}$$

$$\frac{\Delta P - a}{b} = 17 - \frac{4 \Delta P}{300}; \quad \Delta P \left(\frac{1}{b} + \frac{1}{75} \right) = 17 + \frac{a}{b};$$

$$\Delta P \cdot \frac{75 + b}{75 \cdot b} = \frac{a + 17 \cdot b}{b} \Rightarrow \Delta P_{опт} = 75 \cdot \frac{a + 17 \cdot b}{75 + b}.$$

При $a = 978$, $b = 7,96$ получим $\Delta P = 1006,5 \text{ Па}$.

Что и получено раньше. Далее \uparrow - увеличение; \downarrow – уменьшение.

Из уравнения видно, что:

При $b = \text{const}$ с $\uparrow a \Rightarrow \uparrow \Delta P$; и наоборот;

При $a = \text{const}$ с $\uparrow b \Rightarrow \uparrow \Delta P$; и наоборот.

Это видно и из совместного рассмотрения графиков функций $t_{и} = f_{и}(\Delta P)$ и $\Delta P_M = f(t)$.

В общем случае промежуток времени ($t_{и}$) между импульсами на регенерацию при $\Delta P = a + b \cdot t$ в общем виде, используя формулу (7), равен:

$$t_{и} = t_{и.маx} - (t_{и.маx} - t_{и.миn}) \cdot \frac{(a + b \cdot t) - \Delta P_{миn}}{\Delta P_{маx} - \Delta P_{миn}}. \quad (10)$$

Подставляя значения $\Delta P_{маx}$, $\Delta P_{миn}$, $t_{и.маx}$, $t_{и.миn}$, рекомендованные производителями газоочистного оборудования для системы управления регенерацией рукавных фильтров сухой газоочистной установки 6 серии электролизного цеха Богословского алюминиевого завода, при $\Delta P = \Delta P_{опт}$, получим:

$$\begin{aligned} t_{и(опт)} &= 17 - \frac{4 \cdot \Delta P}{300} = 17 - \left(\frac{4}{300} \right) \cdot 75 \cdot \frac{a + 17 \cdot b}{75 + b} = \frac{17 \cdot (75 + b) - (a + 17 \cdot b)}{75 + b} = \\ &= \frac{1275 + 17 \cdot b - a - 17 \cdot b}{75 + b}; \quad t_{и(опт)} = \frac{1275 - a}{75 + b}. \end{aligned}$$

Из уравнения видно, что:

При $b = \text{const}$ с $\uparrow a \Rightarrow \downarrow t_{и}$; и наоборот;

При $a = \text{const}$ с $\uparrow b \Rightarrow \downarrow t_{и}$; и наоборот.

Это видно и из совместного рассмотрения графиков функций $t_{и} = f_{и}(\Delta P)$ и $\Delta P_M = f(t)$ расположенных в одной системе координат.

При случае, когда $\Delta P \neq \Delta P_{опт}$ используется составная функция, то есть зависимость промежутка времени между импульсами на регенерацию от перепада давления в фильтре и функция: $\Delta P = a + b \cdot t$, то есть, линейная зависимость перепада давления в фильтре от времени, использованы при разработке алгоритмов в главе 3: Разработка алгоритмов программ автоматического управления и диагностики системы управления регенерацией рукавных фильтров и создание АСУ ТП регенерации рукавных фильтров.

В третьей главе разработке алгоритмов программ автоматического управления и диагностики системы управления регенерацией рукавных фильтров их реализации. Описаны этапы создания системы автоматизированного управления технологическим процессом.

Для разработки алгоритмов программ автоматического управления системы управления регенерацией рукавных фильтров воспользуемся разработанной моделью:

$$t_{и} = f_{и}(\Delta P) = \begin{cases} t_{и.миn} = 60; & \Delta P > 1,2 \\ t_{и.маx} - (t_{и.маx} - t_{и.миn}) \cdot \frac{\Delta P - \Delta P_{миn}}{\Delta P_{маx} - \Delta P_{миn}}; & 0,9 \leq \Delta P \leq 1,2 \\ t_{и.маx} = 300; & \Delta P < 0,9 \end{cases} \quad \begin{matrix} \Delta P (\text{кПа}) \\ t (\text{с}) \end{matrix}$$

выражающей зависимость промежутка времени между импульсами на регенерацию от перепада давления в фильтре;

а также функцией: $\Delta P = a + b \cdot t$, то есть, линейной зависимостью перепада давления в фильтре от времени. Модель $t_{и} = f_{и}(\Delta P)$ представим графически на рис. 6.

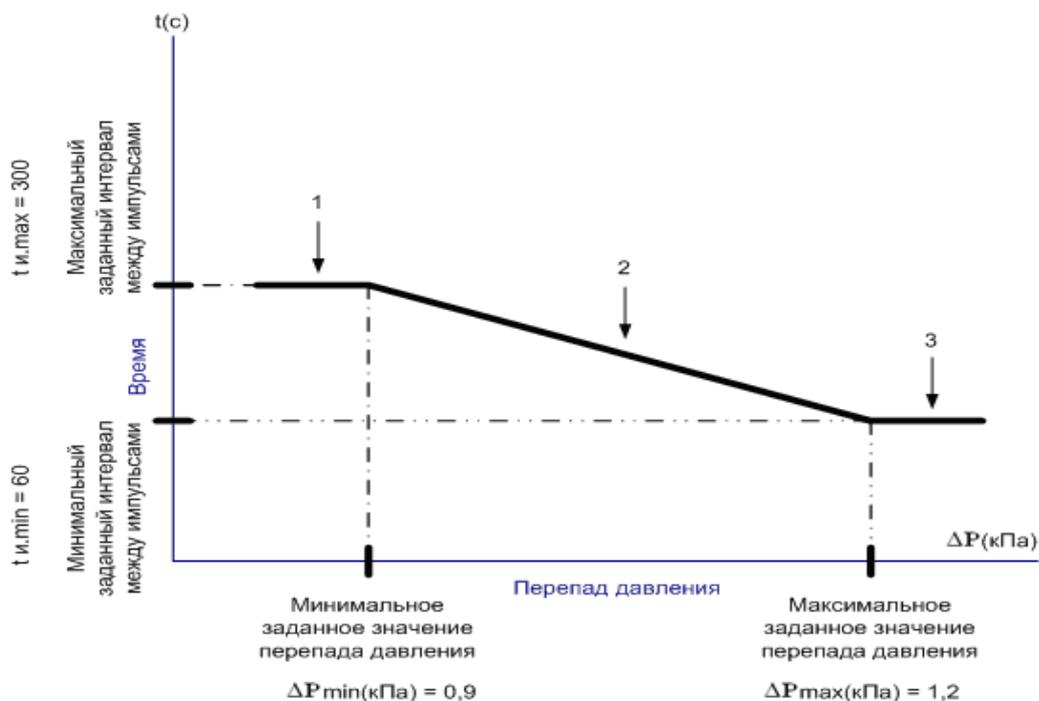


Рис. 6. График регулирования промежутка между импульсами в зависимости от перепада давления на рукавном фильтре.

Максимальный, минимальный интервал между импульсами, а также минимальное и максимальное значения перепада давления задаются в соответствии со значениями рекомендуемыми поставщиками газоочистного оборудования или значениями, найденными опытным путем при эксплуатации газоочистного оборудования. При текущем перепаде давления меньше минимального заданного значения перепада давления **1** интервал между импульсами равен максимальному заданному интервалу между импульсами. При текущем перепаде давления больше максимального заданного значения перепада давления **3** интервал между импульсами равен минимальному заданному интервалу между импульсами. Когда текущий перепад давления больше минимального заданного значения перепада давления и меньше максимального заданного значения перепада давления **2**, то расчет интервала между импульсами производится по формуле (7)

Так как для поддержания требуемого уровня очистки электролизных газов необходимо наличие некоторого пылевого слоя на рукавных фильтрах, то применение данного способа позволит поддерживать этот слой. При большем перепаде давления – пыли много – регенерация будет производиться чаще, пыль будет сбиваться. При меньшем перепаде – пыли мало – регенерация будет производиться реже, пыль будет осаждаться на фильтрующей перегородке.

Длительность регенерирующего импульса равна 500 миллисекундам.

Временные интервалы процессов диагностики системы управления регенерацией рукавных фильтров по наличию токового импульса, передаваемого на катушку соленоида и падению давления в ресивере выбраны по следующим причинам:

1. Токовый импульс – так как длительность импульса равна половине секунды, имеет смысл проверять импульс тока силовой цепи в течение 400 миллисекунд. По величине он равен 24 вольтам.
2. Падение давления на ресивере имеет смысл фиксировать после регенерирующего импульса, как было найдено опытным путем, максимальные падения давления были зафиксированы на графиках в течении 1 – 1,5 секунд после импульса. Поэтому падение давления имеет смысл проверять в течении 2 секунд.

Реализация алгоритмов программ автоматического управления и диагностики системы автоматического управления регенерацией рукавных фильтров. Создание САУ регенерацией рукавных фильтров.

На рис. 7 показана мнемосхема фильтра.

Существует 3 режима, в которых может находиться система:

- 1) "Сервис" – отключена регенерация, включение каналов возможно только нажатием на соответствующую кнопку в верхней части экрана;
- 2) "Циклический" – режим регенерации с заданной длительностью импульса, паузы;
- 3) "Автоматический по перепаду давления на фильтре" – режим регенерации с заданной длительностью импульса и вычисляемой по графику паузой между импульсами. Этот режим является основным.

В строке "В работе" можно вывести из работы отдельные сгоревшие каналы. Красным цветом, в строке "Обрыв цепи", отмечаются каналы, по которым не было сигнала с датчика тока. В строке "Сбой давления" желтым цветом отмечаются каналы, по которым, во время импульса, не было падения давления ниже, чем заданное "Давление граничное".

В строке "Импульсы" синяя линия отображает отработавшие каналы. Также номер последнего отработавшего канала можно увидеть рядом с графиком автоматического режима. Ниже отображается время, в секундах, до срабатывания следующего канала.

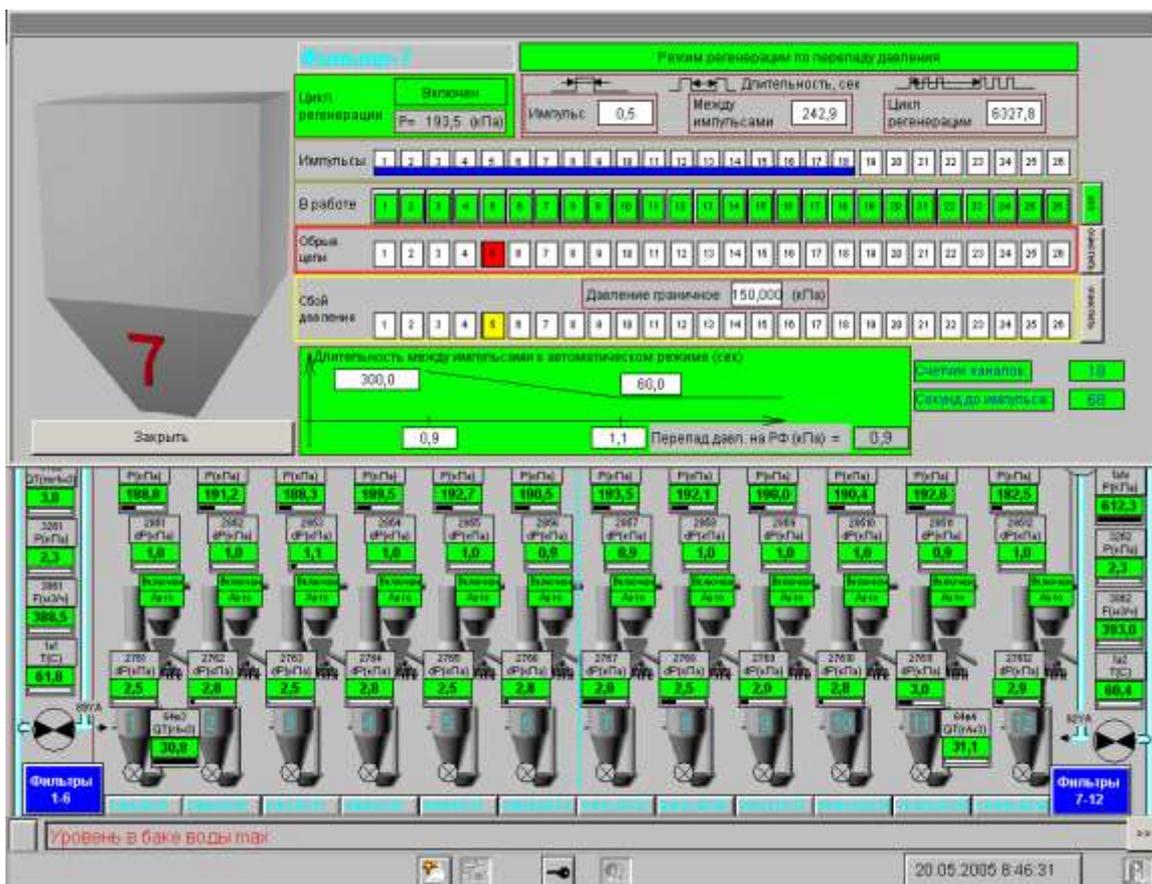


Рис. 7. Мнемосхема фильтра.

Четвертая глава посвящена энерго-экологическому анализу процесса удаления газов при электролизе алюминия с использованием системы автоматического управления регенерацией рукавных фильтров, в соответствии с методикой полного (сквозного) энерго-экологического анализа, разработанного в УГТУ – УПИ, под руководством В.Г. Лисиенко.

До 2004 года электролизные газы удалялись через дымовые трубы вентиляторами ОВ – 2600 без очистки. В июле 2004 года на Богословском алюминиевом заводе, при участии автора данной работы, был осуществлен пуск установки сухой очистки газов на 6-ой серии. Электролизные газы от корпусов 5, 6 электролизного цеха поступают по магистральным газоходам в установку сухой очистки газов и на ней распределяются по 24 модулям «Реактор – рукавный фильтр».

Технологические числа: топливное (ТТЧ) и экологическое (ТЭЧ).
Определение ТЭЧ.

Энергетические затраты, учитывающие потребление энергии, материалов на единицу выпускаемой продукции рассчитываются в форме технологических топливных чисел (ТТЧ) в килограммах условного топлива.

Энергетические затраты, связанные с погашением стоимости экологического ущерба от вредных выбросов на единицу выпускаемой продукции, рассчитываются с помощью технологических экологических чисел (ТЭЧ) в килограммах условного топлива.

Суммарные энергозатраты учитывают потребление энергии, материалов и погашение стоимости экологического ущерба на единицу выпускаемой продукции в килограммах условного топлива

$$ТТЭЧ = ТТЧ + ТЭЧ \text{ (кг у.т./ед. прод.)}$$

Сравнение результатов энерго-экологического анализа процессов удаления электролизных газов с использованием системы автоматического управления регенерацией рукавных фильтров.

Для сравнения результатов составим табл. 4 и на ее основе гистограмму, рис. 8.

Сравнение результатов энерго – экологического анализа Таблица 4

Показатели	Процесс удаления электролизных газов			
	1. Без газоочистки		2. С автоматизированным комплексом газоочистки	
	кг у.т./т ал.	% от ТТЭЧ	кг у.т./т ал.	% от ТТЭЧ
ТТЧ	5903,4	43,56	6507,7	84,41
ТЭЧ	7650,1	56,44	1201,6	15,59
ТТЭЧ	13553,5	100	7709,3	100

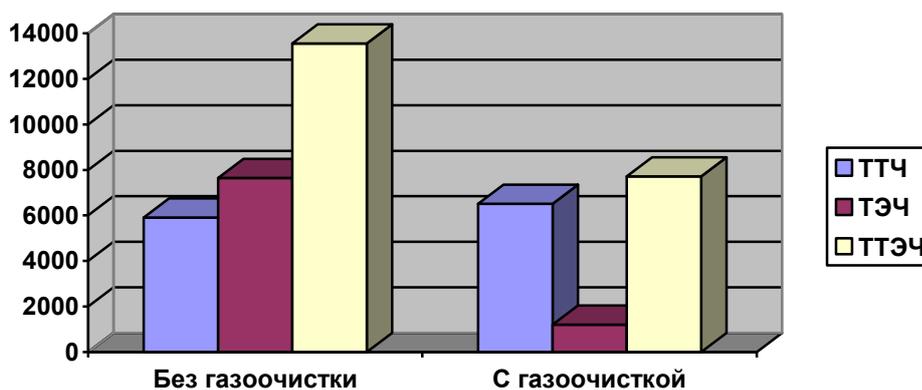


Рис. 8. Сравнительные показатели ТТЧ, ТЭЧ и ТТЭЧ

Как следует из табл. 4 суммарные энергозатраты на электролиз 1 тонны алюминия и энергозатраты на погашение экологического ущерба от загрязнения окружающей среды без газоочистки ($ТТЭЧ_1$) существенно превышают суммарные энергетические затраты с газоочисткой ($ТТЭЧ_2$):

$$\frac{(ТТЭЧ)_1}{(ТТЭЧ)_2} = \frac{13553,5}{7709,3} = 1,76 .$$

Хотя с газоочисткой энергозатраты, учитывающие потребление электроэнергии больше:

$$\frac{(ТТЧ)_2}{(ТТЧ)_1} = \frac{6507,7}{5903,4} = 1,102 .$$

но зато энергозатраты, учитывающие погашение экологического ущерба снизились в 6,367 раза:

$$\frac{(ТЭЧ)_1}{(ТЭЧ)_2} = \frac{7650,1}{1201,6} = 6,367 .$$

Это и привело к снижению суммарных энергозатрат на электролиз 1 тонны алюминия и на удаление электролизных газов с использованием системы автоматического управления регенерацией рукавных фильтров в процессе газоочистки.

В заключении диссертации приведены основные результаты, полученные в ходе выполнения работы, сформулированы выводы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для повышения энерго-экологических показателей производства алюминия, снижения концентрации вредных выбросов в атмосферу и улучшения экологической обстановки в промышленных зонах разработаны алгоритмы управления, с использованием математических моделей, в рамках автоматизированных систем управления технологическим процессом сухой газоочистки для алюминиевых заводов. Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- 1) В результате проведенного анализа математических моделей, определены условия их применения для улавливания мелкодисперсных пылей алюминиевого производства на рукавных фильтрах.
- 2) Сопоставительный анализ экспериментальных данных процесса улавливания мелкодисперсных пылей и соответствующих модельных расчетов выявил возможность применения модели Мандрико и Пейсахова при решении задач автоматического управления рукавными фильтрами. На ее основе разработана математическая модель зависимости периода между регенерациями рукавных фильтров от перепада давления на них.
- 3) Алгоритмы автоматического управления и диагностики регенерации рукавных фильтров целесообразно создавать на основе предложенной модели зависимости периода между регенерациями рукавных фильтров от перепада давления на них.
- 4) На основе предложенных алгоритмов разработано программное обеспечение автоматического управления и диагностики регенерации рукавных фильтров.
- 5) Предложено техническое обеспечение системы автоматического управления технологическим процессом регенерации рукавных фильтров.
- 6) Разработанная система автоматического управления технологическим процессом регенерации рукавных фильтров внедрена в АСУ ТП сухой газоочистной установки ОАО «БАЗ – СУАЛ».
- 7) Внедрение разработанной системы позволило улучшить условия эксплуатации оборудования рукавных фильтров за счет “гибкости” программы реализующей алгоритм управления процессом регенерации фильтров и точности отработки

- программой, устанавливаемых интервалов времени (длительность импульсов, пауза между импульсами).
- 8) Внедрение разработанной системы позволило упростить обслуживание электрооборудования посредством совмещения в одной системе функций управления приводами встряхивания, постоянной диагностики и контроля состояния оборудования, контроля технологического процесса регенерации с выдачей удобных для восприятия цифробуквенных сообщений о его текущем состоянии на дисплей панели оператора и визуализация процесса на мониторах АРМа оператора; повысить комфортность работы оператора и быструю перенастройку системы управления регенерацией фильтров при изменении технологических параметров газоочистки.
 - 9) Проведенный энерго-экологический анализ процесса удаления газов при электролизе алюминия с использованием системы автоматического управления регенерацией рукавных фильтров показал, что пуск в работу автоматизированного комплекса сухой очистки газов на 6 – ой серии снизил энергозатраты, учитывающие погашение экологического ущерба в 6,3 раза.

Основное содержание работы отражено в следующих публикациях:

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК:

1. Лисиенко В.Г., Зотов С.А., Кривовяз В.К., Федоров Л.В., Ожегов М.В. Автоматизация технологических процессов «сухой» газоочистной установки БАЗа // «Цветные металлы» №3.2006
2. Лисиенко В.Г., Зотов С.А. Анализ работы и усовершенствование системы автоматизированного управления сухой газоочистной установкой на примере установки Богословского алюминиевого завода. //«Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов» №2.2008

Патенты на изобретения и свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ:

3. Способ управления регенерацией рукавных пылевых фильтров [Текст]: пат.2337747 Российская Федерация: МПК В 01 D 46/02 / Лисиенко В.Г., Соколов А.Г., Зотов С.А.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Уральский государственный технический университет УГТУ-УПИ». – №2007114221/15; заявл. 16.04.2007; опубл. 10.11.2008

Статьи в журналах, доклады и тезисы докладов на конференциях:

4. Лисиенко В.Г., Зотов С.А. Система автоматического регулирования нагрузки силовых агрегатов “сухой” газоочистной установки на примере установки электролизного цеха Богословского

- алюминиевого завода, филиал ОАО “СУАЛ”. //Труды IX отчетной конференции молодых ученых УГТУ – УПИ. 2004
5. Лисиенко В.Г., Ожегов М.В., Зотов С.А. Совершенствование автоматизированной системы управления технологическим процессом «сухой» газоочистки электролизного цеха БАЗа //Труды X юбилейной научно – практической конференции «Алюминий Урала - 2005». Тезисы докладов. 2005. стр. 179
 6. Лисиенко В.Г., Ожегов М.В., Зотов С.А. Совершенствование автоматизированной системы управления технологическим процессом «сухой» газоочистки электролизного цеха БАЗа //Труды X юбилейной научно – практической конференции «Алюминий Урала - 2005». 2005.
 7. Лисиенко В.Г., Зотов С.А. Система автоматического регулирования нагрузки силовых агрегатов “сухой” газоочистной установки на примере установки электролизного цеха Богословского алюминиевого завода, филиал ОАО “СУАЛ”. //Труды X отчетной конференции молодых ученых УГТУ – УПИ. 2005
 8. Лисиенко В.Г., Соколов А.Г., Зотов С.А. Автоматизация технологических процессов “сухой” газоочистной установки б – ой серии электролизного цеха Богословского алюминиевого завода. //Труды XI научно – практической конференции «Алюминий Урала – 2006». Тезисы докладов. 2006. стр. 177
 9. Лисиенко В.Г., Зотов С.А. Автоматизация технологических процессов “сухой” газоочистной установки на примере установки б – ой серии электролизного цеха Богословского алюминиевого завода, филиал ОАО “СУАЛ”. //Труды международной конференции «информационно – математические технологии в экономике, технике и образовании». Тезисы докладов. 2006. стр. 157
 10. Лисиенко В.Г., Зотов С.А. Автоматизация технологических процессов “сухой” газоочистной установки на примере установки б – ой серии электролизного цеха Богословского алюминиевого завода, филиал ОАО “СУАЛ”. //Труды международной конференции «информационно – математические технологии в экономике, технике и образовании». 2006. стр. 164
 11. Лисиенко В.Г., Зотов С.А. Автоматизация технологических процессов “сухой” газоочистной установки на примере установки б – ой серии электролизного цеха Богословского алюминиевого завода, филиал ОАО “СУАЛ”. //Труды 2 научно – технической конференции молодых специалистов «БАЗ - СУАЛ». Тезисы докладов. 2006.
 12. Лисиенко В.Г., Зотов С.А. Автоматизация технологических процессов “сухой” газоочистной установки на примере установки б – ой серии электролизного цеха Богословского алюминиевого завода, филиал ОАО “СУАЛ”. //Труды 2 научно – технической конференции молодых специалистов «БАЗ - СУАЛ». 2006.

- 13.Лисиенко В.Г., Зотов С.А. Автоматизация технологического процесса регенерации рукавных фильтров “сухой” газоочистной установки 6 – ой серии электролизного цеха Богословского алюминиевого завода – филиал ОАО “СУАЛ”. //«Промышленные печи и трубы» №4.2007
- 14.Лисиенко В.Г., Зотов С.А. Автоматизация технологического процесса транспортировки глинозема «сухой» газоочистной установки на примере установки 6 – ой серии электролизного цеха Богословского алюминиевого завода, филиал ОАО «СУАЛ» // Труды VI всероссийской научно – практической конференции AS’2007 системы автоматизации в образовании, науке и производстве. Посвящается 100 – летию со дня рождения профессора П.М. Масловского. Тезисы докладов. 2006.
- 15.Лисиенко В.Г., Зотов С.А. Автоматизация технологического процесса транспортировки глинозема «сухой» газоочистной установки на примере установки 6 – ой серии электролизного цеха Богословского алюминиевого завода, филиал ОАО «СУАЛ» // Труды VI всероссийской научно – практической конференции AS’2007 системы автоматизации в образовании, науке и производстве. Посвящается 100 – летию со дня рождения профессора П.М. Масловского. 2006. стр. 140