

Авторефер.  
Т 36

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ им. М. В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

ТЕСКЕ ХАРТМУТ

УДК 62-531:533.6.011

УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ ДВУХФАЗНОГО ПОТОКА  
В ЦИКЛОННО-ВИХРЕВЫХ АППАРАТАХ

Специальность 05.13.07 – автоматическое  
управление и регулирование, управление  
технологическими процессами  
(промышленность)

Держу учет 19

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой  
степени кандидата технических наук

Одесса – 1982

Работа выполнена в Одесском ордена Трудового Красного Знамени политехническом институте

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент  
ТОДОРЦЕВ Ю.К.

Официальные оппоненты: заслуженный деятель науки и техники УССР,  
доктор технических наук, профессор  
ВАРЛАМОВ М.Л.

кандидат технических наук, доцент  
КОХАНСКИЙ А.И.

ОНАХТ 18.05.12  
Управление движением



v014412

Ведущая организация: Ленинградский государственный научно-исследовательский и проектный институт химической промышленности.

1982 г. в 13 час.  
Совета Д 068.35.01 при  
Уте пищевой промышленности  
са, ул. Свердлова, 112.

ся в библиотеке Одесского  
вой промышленности

1982 г.

014412

А.Ф. Загибалив

ОДЕССКИЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ЦЕНТР  
А

Автореф

T

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ: Одним из важных направлений научно-технического прогресса и путей интенсификации производственных процессов, указанных в решениях XXVI съезда КПСС и X съезда ЦКП, является совершенствование и создание новых более прогрессивных технологических процессов, максимально экономящих природные ресурсы, а также более широкое применение эффективных и надежных способов и средств автоматизации.

К более совершенным способам организации технологических процессов относится применение энерготехнологических циклонно-вихревых аппаратов (ЦВА), которые за счет активного гидродинамического режима обеспечивают высокие технологические показатели. Такие аппараты используются в качестве плавителей и предтопок в пищевой промышленности, энергетике, металлургии и других областях. В частности, применяются циклонные установки для производства кормовых обесфторенных фосфатов, выпуск которых должен значительно увеличиться в соответствии с Продовольственной программой.

Внедрение ЦВА сдерживается недостаточным уровнем их автоматизации, хотя применение АСУ для таких аппаратов значительно улучшает их технико-экономические показатели, а для некоторых из них обеспечивает работоспособность.

Несмотря на многочисленные исследования ЦВА и существующие разработки систем управления остается ряд проблем, связанных с автоматизацией этих аппаратов, включая регулирование движения несущего газового потока и управление сепарацией материала на стенку аппарата. Отсутствует постановка и решение задачи управления движением двухфазного потока. Для создания систем управ-

ления по аэродинамическому каналу необходимо определение свойств объекта и нахождение управляющих координат и промежуточных параметров, характеризующих аэродинамическую обстановку внутри аппарата.

Поэтому синтез математической модели аэродинамики, исследование движения технологических потоков в объеме ЦВА с целью выявления их влияния на работу аппарата в целом, определение контролируемых и управляющих координат и разработка принципов и схем управления аэродинамического режима являются актуальными задачами.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ - исследование характеристик объекта управления и разработка принципов управления движением двухфазного потока в энерготехнологических циклонно-вихревых аппаратах.

В соответствии с целью поставлены следующие задачи:

- определение задачи и целевой функции управления движением двухфазного потока;
- синтез математической модели двухфазного циклонного потока и создание системы программ моделирования аэродинамики ЦВА;
- численное исследование свойств объекта управления и нахождение возможных регулирующих координат;
- разработка принципов и схем автоматического управления аэродинамическим режимом ЦВА.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ. Основными методами исследования в работе являются: системный анализ, математическое моделирование и численный эксперимент.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА и научные результаты заключаются в следующем:

- поставлена и решена задача управления движением неизотермического двухфазного потока в ЦВА, которая делится на две

подзадачи - регулирование движения несущего газового потока и управление сепарацией материала на стенку аппарата;

- сформулированы основные принципы управления аэродинамическим режимом ЦВА;

- показано, что регулирование движения несущего газового потока должно осуществляться путем поддержания требуемого значения максимума тангенциальной скорости воздействием на площадь входных сопел или диаметр пережима, а управление сепарацией материала на стенку ЦВА - путем поддержания заданной толщины пленки расплава воздействием на входную скорость частиц;

- систематизировано и обобщено математическое описание движения потока и синтезирована система программ расчета аэродинамического режима в ЦВА для ЕС ЭВМ;

- определены статические характеристики объекта управления, в том числе, изолинии постоянного значения максимума тангенциальной скорости и влияние параметров на положение и ширину зоны основной сепарации материала;

- разработаны способы автоматического управления движением двухфазного потока, защищенные тремя авторскими свидетельствами.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ. Разработанное математическое обеспечение расчета аэродинамики ЦВА передано проектным и научно-исследовательским организациям, в том числе в ВНИИ Энергопром и ДМТИ для использования при разработке и исследовании ЦВА и их систем управления. Ожидаемый экономический эффект составляет 52,5 тыс.руб. в год по одному объекту. Результаты работы использованы при выполнении комплексной программы ГИИТ СССР 0.01.11, задание 03. НИГ по разработке математической модели для управления циклонными энерготехнологическими агрегатами в 1976-80 г.г., комплексной программы ГИИТ СССР 0.01.11, задание 01.09

(СЭВ) по созданию циклонных топок в 1981-82 г.г. и республиканской программы АПРОДОС Минвуза УССР, задания 02 по разработке программных средств для автоматизированного проектирования ЦВА в 1981-82 г.г. Принципы и способы управления также используются в работах НИО "Техэнергохимпром" и ОИИ по автоматизации циклонных установок Джамбулского суперфосфатного завода по производству кормовых фосфатов.

АПРОВАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ. Основные положения и отдельные разделы диссертационной работы доложены и одобрены на:

- II и III Всесоюзных конференциях на тему "Математическое моделирование сложных химико-технологических систем" (Новомосковск, 1979 г., Таллин, 1982 г.);

- Всесоюзном совещании по математическому моделированию и управлению высокотемпературными процессами в циклонных и вихревых аппаратах (Одесса, 1980 г.);

- II Всесоюзном научно-техническом совещании на тему "Создание и внедрение современных аппаратов с активными гидродинамическими режимами для текстильной промышленности и производства химических волокон" (Москва, 1981 г.);

- 42-ой и 44-ой отчетных научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава ОИИ (Одесса, 1980 г., 1982 г.);

- семинарах "Кибернетика и автоматическое управление" научного Совета АН УССР по проблеме "Кибернетика" (Одесса, 1979 г., 1981 г.).

ПУБЛИКАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ. По теме диссертации опубликованы 5 работ и получены 3 положительные решения о выдаче авторских свидетельств на изобретения.

СТРУКТУРА И ОБЪЕМ РАБОТЫ. Диссертационная работа состоит

из введения, четырех разделов с выводами, общих выводов и рекомендаций и описки литературы.

Основное содержание диссертации изложено на 119 страницах машинописного текста с 42 иллюстрациями и таблицами, содержит список литературы из 130 наименований.

#### ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении сформулированы актуальность темы, цель и задачи исследований, научная новизна и результаты, представленные автором к защите.

В первом разделе описаны аппарат с циклонно-вихревым принципом организации процессов и структура двухфазного потока, показаны особенности аппарата как объекта управления движением потока, сформулирована задача регулирования аэродинамического режима и проанализированы существующие схемы автоматизации ЦВА.

Характерной особенностью ЦВА является организация сложного вращательного движения газового потока благодаря тангенциальному вводу воздуха. При эксплуатации ЦВА выявились проблемы, обусловленные особенностями движения газа и материала: неустойчивость и нарушение аэродинамического режима, образование настилей, понижение сепарационной способности и повышение уноса. Чисто конструктивным изменением геометрических характеристик аппаратов устранить появившиеся трудности не удалось. Это связано с тем, что поступающие в аппарат исходный материал и топливо, по существу, представляют собой серьезные возмущающие факторы относительно движения несущего газового потока. Аналогичные возмущения вносят случайные внутренние изменения темпера-

туры ореды и шероховатости стен, а также корректирующие контуры АСУ ЦВА.

Таким образом, для решения общей задачи стабилизации технологического потока необходимо регулировать аэродинамический режим, а стабилизация движения несущего потока в аппарате является актуальной важной задачей управления.

В аппарате происходит сепарация материала на стенку. Состояние и расположение зоны основной сепарации материала и ее размеры оказывают существенное влияние на протекание технологического процесса. Сепарация тесно связана с движением потока и ее регулирование является наряду со стабилизацией несущего потока второй подзадачей управления движением двухфазного потока в ЦВА.

Сепарация материала приводит к следующему эффекту: геометрическая характеристика - шероховатость стен, перестает быть неизменной, а становится режимной характеристикой. Переменная шероховатость является внутренним возмущающим фактором.

Сформулированная задача управления аэродинамическим режимом делится на две подзадачи:

1. Стабилизация заданного значения максимума тангенциальной скорости несущего газового потока на участке наибольшей плотности сепарации материала - минимизация целевой функции

$$u_1 = \left( \frac{\omega_{\text{max}}}{\omega_0} - 1 \right)^2, \quad (1)$$

где  $\omega_{\text{max}}$ ,  $\omega_0$  - текущее и заданное значение максимума тангенциальной скорости.

2. Поддержание требуемой толщины пленки расплава в зоне наибольшей плотности сепарации материала - минимизация целевой функции

$$u_2 = \left( \frac{1}{T} \int_0^T \frac{1}{\delta} d\theta \int_0^{\delta} v_s d\tau \right)^2, \quad (2)$$

где  $T$ ,  $\theta$  - временные координаты;  $\delta$  - толщина гарниссажа;  $v_s$  - скорость роста толщины гарниссажа.

Анализ известных схем автоматизации ЦВА показал, что они не решают задачу управления движением потока. Принятые в них регулирующие воздействия на входные потоки приводят к появлению противоречий при решении задач управления аэродинамическим и температурным режимами, снятие которых возможно лишь при нахождении новых регулирующих координат.

Для решения задачи управления движением потока необходимо более глубоко исследовать этот канал регулирования. Так как изменение движения двухфазного потока по отдельным возмущениям практически происходит безинерционно по сравнению с процессами тепло-массопередачи, то достаточно ограничиться рассмотрением только статики процесса.

Второй раздел посвящен математическому описанию двухфазного потока в ЦВА и его реализации на ЕС ЭВМ.

Анализ топологии ЦВА показывает большую сложность и взаимосвязанность эффектов и явлений. Целесообразно поэтапное изучение влияния отдельных факторов на аэродинамику. В начале исследуется несущий газовый поток, что позволяет выявить влияние геометрических и режимных параметров на движение потока и определить возможные управляющие координаты. В дальнейшем изучается взаимосвязь между аэродинамическим режимом и сепарацией материала.

Систематизация аналитических методов описания газового потока, приведенных в работах Кнорре Г.Ф., Нахапетян Н.А., Устименко Б.И., Калашевского Л.Л., Штыма А.Н., Карпова С.В., Сабурова Э.Н., Деветериковой М.И., Сидельковского Л.Н., Шевелева В.Н., Балуева Е.Д., Ковалева В.И., Агагулы В.А., Якубова Г.В., Моле И., Якобса И. и др.,

показывает, что их можно выразить в виде обобщенных уравнений:

$$\begin{aligned} \omega_{\varphi} &= \omega_{\varphi \max} \cdot \Psi_{\varphi}(R, z, R_{\varphi \max}, \bar{K}); \\ \omega_z &= \begin{cases} \omega_{\varphi \max} \cdot \Psi_z'(R, z, R_{\varphi \max}, \bar{K}) K_N^z; \\ \omega_e \cdot \Psi_z''(R, z, R_{\varphi \max}, \bar{K}, K_N^z); \end{cases} \quad (3) \\ \omega_R &= \begin{cases} \omega_{\varphi \max} \cdot \Psi_R'(R, z, R_{\varphi \max}, \bar{K}) K_N^R; \\ \omega_e \cdot \Psi_R''(R, z, R_{\varphi \max}, \bar{K}, K_N^R). \end{cases} \end{aligned}$$

где  $\Psi_{\varphi}, \Psi_z', \Psi_z'', \Psi_R', \Psi_R''$  - безразмерные функции распределения;  $\omega_e, \omega_{\varphi \max}$  - скорости на входе в аппарат и максимум тангенциальной скорости на радиусе  $R=R_{\varphi \max}$ ;  $K_N^z, K_N^R$  - параметры, учитывающие влияние неизотермичности потока на  $\omega_z$  и  $\omega_R$ ;  $\bar{K}$  - вектор конструктивных параметров;  $R, z$  - пространственные координаты.

Ниже зависимости в выражениях для  $\omega_R, \omega_z$  относятся к моделям аэродинамики, в которых невозможно выделить значение максимума тангенциальной скорости в качестве независимой составляющей.

Значение  $\omega_{\varphi \max}$  связано с входной скоростью потока  $\omega_e$  и коэффициентами неизотермичности  $K_N$  и сохранения входной скорости  $\epsilon_{\max}$ :

$$\omega_{\varphi \max} = \epsilon_{\max} \cdot K_N \cdot \omega_e \quad (4)$$

Разработано математическое обеспечение для моделирования движения несущего газового потока по выражениям (3) и (4) путем состыковки тех зависимостей для параметров  $R_{\varphi \max}, \epsilon_{\max}, K_N$  и безразмерных функций из различных моделей, которые наилучшим образом отражают экспериментальные данные конкретной конфигурации ЦВА.

Математическое обеспечение для моделирования движения и сепарации частиц материала определенного диаметра  $d_p$  включает описание движения несущего газового потока, преобразованное векторное уравнение Сыркина С.И. для определения траектории частиц:

$$m_p \frac{d\vec{v}}{dt} = c \frac{\rho_r}{2} S_p |u| \vec{u} + m_p \left(1 - \frac{\rho_r}{\rho_p}\right) \vec{g}, \quad (5)$$

где  $\vec{v}, \vec{u}$  - векторы абсолютной и относительной скорости частиц;  $S_p$  - площадь сечения частиц;  $c$  - коэффициент аэродинамического сопротивления;  $\rho_r, \rho_p$  - плотности газа и частиц;  $m_p$  - масса частицы.

Математическое обеспечение для моделирования движения и сепарации полидисперсного материала содержит, дополнительно к выше указанным уравнениям, зависимости для описания гранулометрического состава материала логарифмически нормальным законом и выражение для определения расхода отсепарированного материала  $G_m^{sep}$  по высоте аппарата  $z$ :

$$G_m^{sep}(z) = G_{m,0} \int_{d_{p,p}(z)}^{d_{p,q}(z)} f(d_p) dd_p, \quad (6)$$

где  $G_{m,0}$  - расход материала на входе;  $d_{p,p}, d_{p,q}$  - соответственно минимальный и максимальный диаметр отсепарированных на стенку частиц;  $f(d_p)$  - плотность весового распределения частиц по диаметру. Система дополняется граничными условиями.

Полное программное обеспечение системы моделирования аэродинамики на базе ОС ЕС ЭВМ включает кроме математического описания движения двухфазного потока ряд вспомогательных и обслуживающих программ, позволяющих эффективно вести различные исследования.

В третьем разделе представлены резуль-

таты выбора математической модели движения несущего газового потока, статические характеристики ЦВА, полученные численным экспериментом с помощью синтезированной модели, и результаты исследования движения и сепарации полидисперсного материала.

Осуществлен выбор конкретной модификации математической модели движения газового потока для цилиндрических циклонных камер с нижним выводом газов, аналогичных установкам Борского стекольного завода и Джамбулского суперфосфатного завода, которые отличаются наличием выраженных шероховатых стен, а также для гладкостенных камер. Для оценки адекватности модели использованы экспериментальные данные других авторов.

В качестве критерия выбора приняты среднеквадратические оценки функций параметров распределения. Найденная расчетная модель движения газового потока в ЦВА с шероховатыми стенками включает безразмерную функцию распределения тангенциальной скорости

$$\psi_v = \begin{cases} (R/R_{vmax})^{0.5} & \text{при } R \leq R_{vmax}; \\ (R/R_{vmax})^{-0.5} & \text{при } R > R_{vmax}, \end{cases} \quad (7)$$

эмпирические зависимости для определения радиуса  $R_{vmax}$  по Кнорре-Нахапетян и для расчета коэффициента сохранения скорости  $\beta_{max}$ , предложенную Деветериковой и Михайловым. Безразмерные функции распределения аксиальной и радиальной скорости приняты по методике Сидельковского-Шевелева.

Среднеквадратическая оценка распределения тангенциальной скорости, полученная на модели ЦВА с шероховатыми стенками, улучшена на 26% по сравнению с известными методиками, а на модели с гладкими стенками - на 17%. Это позволяет использовать их при исследовании аэродинамики двухфазного потока для целей управления.

Для решения задачи стабилизации движения несущего газового потока проведено численное исследование аэродинамики ЦВА с шероховатой стенкой.

Исследования показали, что распределения тангенциальной скорости по радиусу существенно зависят от основных геометрических и режимных параметров. Для характеристики движения газа с целью управления достаточно оценить значение максимума тангенциальной скорости  $\omega_{vmax}$ . Сильное влияние на уровень тангенциальной скорости оказывает шероховатость стен  $\bar{\Delta}$ , которая является возмущающим фактором.

Достаточно высокая чувствительность значения  $\omega_{vmax}$  по отношению к расходу воздуха  $G_B$ , относительному диаметру пережима  $d_n$  и относительной площади входных сопел  $f_{ex}$  позволяет рекомендовать эти параметры для регулирования аэродинамического режима.

На рис. I изображены изолинии максимума тангенциальной скорости, которые показывают, как нужно изменить  $G_B$ ,  $f_{ex}$  и  $d_n$  при внутренних возмущениях, в частности, изменении относительной шероховатости стен  $\bar{\Delta}$ , чтобы поддерживать на заданном уровне движение потока.

Путем численного эксперимента исследовалось также движение и сепарация полидисперсного материала в ЦВА. При этом предполагалось, что весовое распределение частиц по диаметру подчиняется логарифмически нормальному закону.

Для оценки движения частиц в объеме использовались следующие характеристики, являющиеся важными параметрами, определяющими условия тепло-массообмена в аппарате: траектория частиц, распределения по высоте относительной скорости частиц и времени полета частиц.

Общий уровень относительной скорости и время пребывания

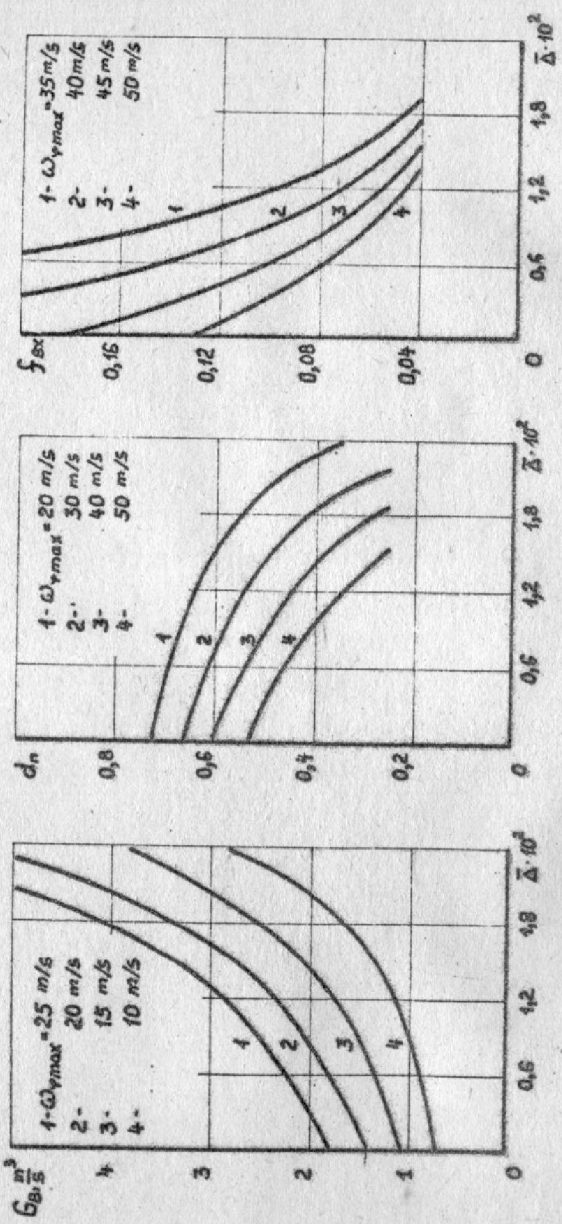


Рис.1 Семейство изолиний максимума тангенциальной скорости при изменении различных параметров ЦВА ( диаметр циклона  $D_n = 1m$ , относительная длина  $L = 1,5$ , относительный диаметр переклина  $d_n = 0,5$ , относительная площадь входных сопел  $f_{bx} = 0,1$  расход воздуха  $G_0 = 4m^3/s$  )

частиц в объеме практически не изменяются при изменении входной скорости частиц  $v_{0x}$ . С ростом  $G_0$  и с уменьшением  $d_n \cdot f_{bx}$ ,  $\bar{\Delta}$  средний уровень относительной скорости увеличивается, а время пребывания частиц в объеме снижается.

Важными параметрами, характеризующими сепарацию полидисперсного материала, являются аксиальная координата  $\bar{z}_m$  сепарации средневесовых частиц  $\bar{d}_v$  и ширина зон основной сепарации  $[\bar{z}_0, \bar{z}_{0,75}]$  и  $[\bar{z}_0, \bar{z}_{0,9}]$ . При  $\bar{z} = \bar{z}_0$  начинается сепарация, а при  $\bar{z}_{0,75}$  и  $\bar{z}_{0,9}$  отсепарировано 75% либо 90% веса исходного материала.

Расчет показал, что координата  $\bar{z}_m$  всегда оказывается в центре зоны  $[\bar{z}_0, \bar{z}_{0,75}]$  и, тем самым, может служить оценкой расположения зоны основной сепарации по длине камеры. Высота зоны смещается к пережиму аппарата с увеличением параметров  $f_{bx}$ ,  $d_n$ ,  $v_{0x}$ ,  $\bar{\Delta}$  и уменьшением  $G_0$ , причем значительное всего при изменении  $v_{0x}$  и  $d_n$ . Ширина зоны мало меняется при изменении  $f_{bx}$ ,  $d_n$ ,  $\bar{\Delta}$  и значительно при изменении  $G_0$ ,  $v_{0x}$  и плотности материала  $\rho_v$ . Зависимость положения и ширина зон основной сепарации от плотности носят экстремальный характер, достигая минимума при небольших  $\rho_v$  ( $\approx 500-1000 \text{ kg/m}^3$ ).

С учетом особенностей влияния  $v_{0x}$  на поток можно использовать входную скорость подачи материала в качестве управляющей координаты для регулирования положения и ширины зоны основной сепарации.

На рис.2 показано влияние стабилизации движения несущего потока на положение и ширину зоны сепарации при воздействии на  $G_0$ ,  $d_n$  и  $f_{bx}$  для компенсации внутренних возмущений  $\bar{\Delta}$ . Регулирование движения несущего потока, осуществленное на основе изолиний  $\omega_{y_{max}} = const$ , приводит, при изменении  $d_n$  и  $f_{bx}$ , к стабилизации расположения зоны основной сепарации.

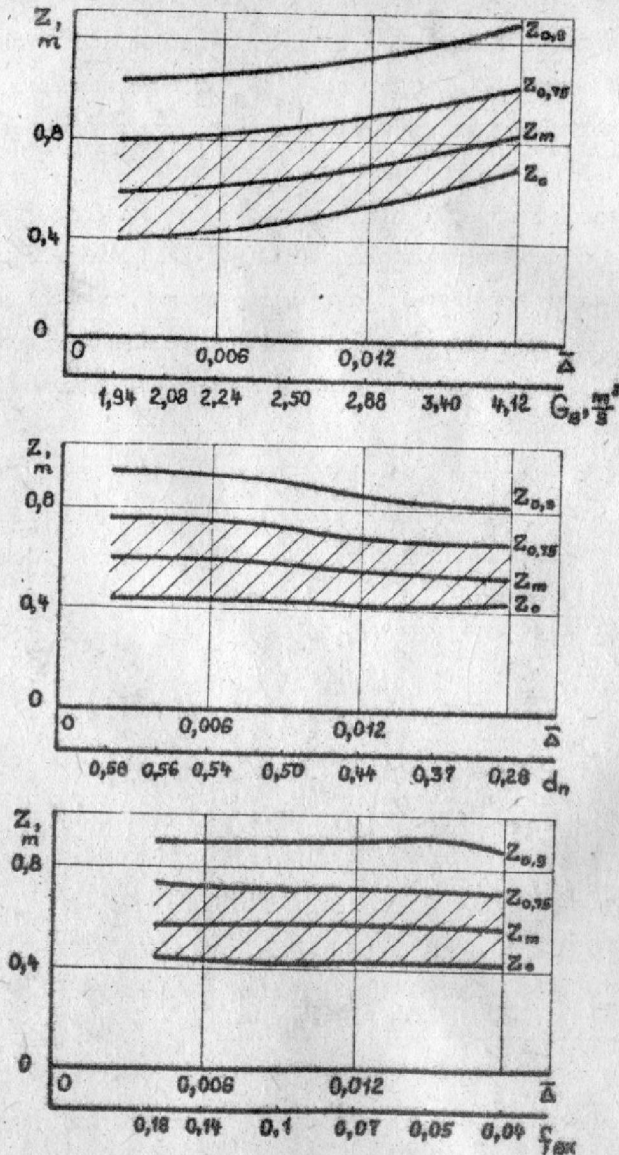


Рис.2 Изменение зоны сепарации при стабилизации максимума тангенциальной скорости потока ( $\rho_g = 2850 \text{ kg/m}^3, v_{gx} = 15 \text{ m/s}, d_n = 120 \mu\text{m}$ )

В четвертом разделе осуществлен выбор основных управляющих координат для систем регулирования движения несущего потока и сепарации материала, предложены структура и алгоритмы функционирования различных способов управления движением двухфазного потока.

Принципиально возможно использовать для регулирования движения несущего потока воздействие на расход воздуха, разрежение на выходе, общую площадь входных сопел и диаметр пережима. Для регулирования сепарации дополнительно можно воздействовать на скорость подачи материала.

В аппаратах, где осуществляется процесс горения и тепловой обработки материала, расходы воздуха и топлива жестко связаны, следовательно, для управления аэродинамическим режимом нельзя использовать регулирующее воздействие на расход воздуха.

На основании проведенных исследований разработан ряд принципиальных решений по управлению движением двухфазного потока.

Предложен способ управления процессом термической переработки материала для действующих ЦВА с контуром стабилизации аэродинамической обстановки изменением разрежения в газоходе.

Более эффективными и перспективными способами регулирования движения несущего потока являются способы АСУ с изменением геометрических характеристик. На рис.3 регулирование осуществляется изменением входной скорости воздуха при неизменном его расходе, что достигается воздействием на эффективную площадь входных сопел, которую можно изменять механически или аэромеханически. Аналогично работает АСУ путем изменения эффективного диаметра пережима. Данные схемы позволяют стабилизировать расположение зоны основной сепарации по длине аппарата.

На рис.4 показана функциональная схема управления ЦВА с контурами регулирования движения несущего газового потока и се-

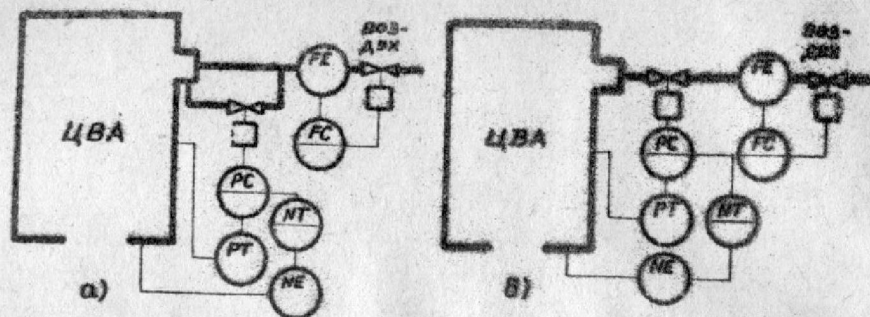


Рис. 3 Функциональные схемы АСР аэродинамического режима изменением площади входных сопел: а- механически, б- аэромеханически

парации материала. Путем изменения расхода вторичного воздуха, и тем самым, входной скорости частиц исходного материала, осуществляется управление положением и шириной зоны основной сепарации в зависимости от теплового состояния пленки расплава.

ВЫВОДЫ

1. Для изучения свойств ЦВА как объектов управления осуществлен синтез математической модели двухфазного слабозапыленного потока и оведена система программ моделирования аэродинамики ЦВА для ОС ЕС ЭВМ. Получено обобщенное математическое описание движения несущего газового потока.

2. Определены задачи и целевые функции управления движением потока.

3. По результатам исследований получены следующие принципы управления аэродинамическим режимом:

- задача управления делится на две подзадачи - регулирование движения несущего газового потока и поддержание необходимых условий сепарации материала на стенку ЦВА;

- эффективным способом регулирования движения несущего газового потока является поддержание требуемого значения максимума тангенциальной скорости;

- управление сепарацией материала на стенку следует осуществлять путем изменения положения и ширины зоны основной сепарации частиц, что позволяет поддерживать заданную толщину пленки расплава на стенке аппарата;

- в качестве управляющих координат, наиболее эффективно воздействующих на движение двухфазного потока, рекомендуется использовать площадь входных сопел, диаметр пережима и скорость

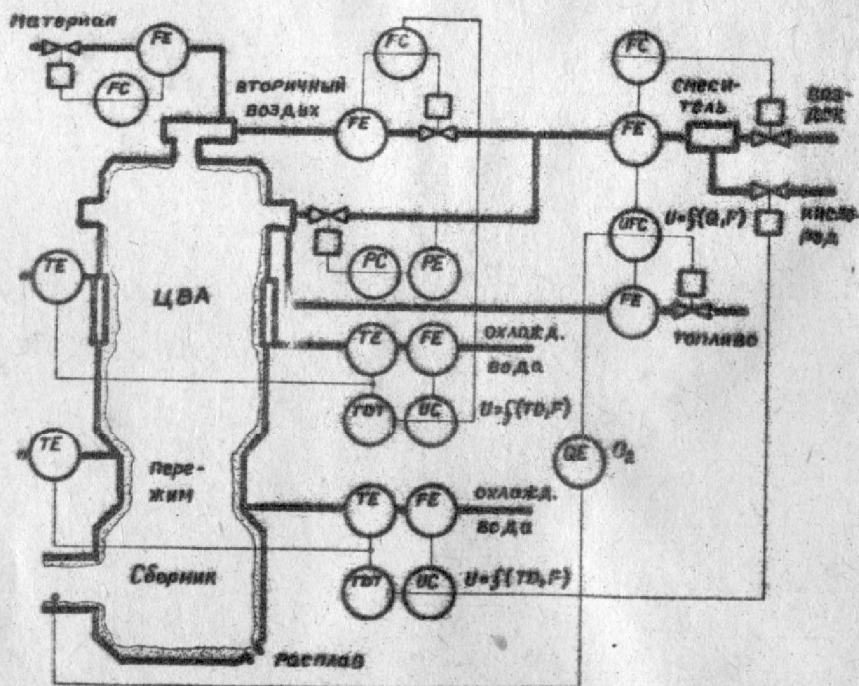


Рис. 4 Функциональная схема АСР ЦВА с контурами регулирования движения несущего потока и сепарации материала

подачи материала в ЦВА;

- стабилизация максимума тангенциальной скорости газового потока путем воздействия на площадь входных сопел или диаметр пережима одновременно стабилизирует положение и ширину зоны основной сепарации материала.

4. При исследовании аэродинамического режима ЦВА найдены статические характеристики по каналам управления. Получены изолинии максимума тангенциальной скорости при изменении различных управляющих и внутренних возмущающих параметров.

5. По результатам численного эксперимента установлено, что ширина зоны основной сепарации мало меняется при изменении площади входных сопел, диаметра пережима, шероховатости стен и значительно меняется при изменении расхода воздуха, входной скорости частиц и плотности материала. Высота сепарации приближается к пережиму с уменьшением расхода воздуха и с увеличением площади входных сопел, диаметра пережима, входной скорости частиц и шероховатости стенки, причем, значительно всего с изменением диаметра пережима и входной скорости частиц. Зависимость высоты и ширины зоны основной сепарации от плотности материала носит экстремальный характер, достигая минимума при небольших плотностях ( $\approx 500-1000 \text{ kg/m}^3$ ).

6. Установлено, что при изменении скорости подачи материала время пребывания частиц в объеме и средний уровень относительной скорости практически не меняется, а при увеличении площади входных сопел, диаметра пережима и шероховатости стен или при уменьшении расхода воздуха растет время пребывания частиц в объеме и уменьшается относительная скорость частиц.

7. Разработаны способы автоматического управления движением двухфазного потока в ЦВА, защищенные тремя авторскими свидетельствами. Система программ расчета аэродинамических характе-

ристик ЦВА передана проектным и научно-исследовательским организациям. Ожидаемый экономический эффект по одному объекту составляет 92,5 тыс.руб. в год. Результаты данной работы нашли применение при выполнении комплексных программ ГКНТ СССР по созданию ЦВА и их систем управления. Принципы и способы управления также используются в работах НИО "Техэнергохимпром" и ОИИ по автоматизации энерготехнологических агрегатов Джамбульского суперфосфатного завода.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Теске Х., Тодорцев Ю.К. Разработка системы автоматизированного моделирования химико-технологических процессов в огнетехнических циклонных аппаратах. - В кн.: II Всесоюзная конференция на тему "Математическое моделирование сложных химико-технологических систем (СХТС-II)" (3-5 декабря 1979г.): Тез. докл.-Новомосковск, 1979, с.187-188.

2. Килимник В.Г., Теске Х., Гайдар А.Н. Разработка и исследование элементарных модулей аэродинамики аппаратов вихревого типа. - В кн.: Всесоюзное совещание по математическому моделированию и управлению высокотемпературными процессами в циклонных и вихревых аппаратах (21-22 мая 1980г.): Тез. докл.-Одесса, 1980, с.31.

3. Теске Х., Килимник В.Г. Построение модели аэродинамики циклонного аппарата при решении задач управления. - В кн.: Создание и внедрение современных аппаратов с активными гидродинамическими режимами для текстильной промышленности и производства химических волокон (г.Москва, 18-20 ноября 1981г.): Тез. докл. 2-го Всесоюзного научно-технического совещания. - М., 1981, с.155.

4. Килимник В.Г., Теске Х., Тодорцев Ю.К. Систематизация методик расчета аэродинамики циклонных аппаратов для построения систем управления. - Одес. политехн. ин-т. - Одесса, 1981. - 16 с. - Рукопись деп. в УкрИИИТИ 24.06.1981 № 2365.

5. Тодорцев Ю.К., Килимник В.Г., Теске Х., Иванов В.К. Разработка пакета прикладных программ для проектирования систем управления циклонно-вихревых аппаратов. - В кн.: III Всесоюзная конференция на тему "Математическое моделирование сложных химико-технологических систем (СХТС-III)": Тез. докл. Часть 2. - Таллин, 1982, с. 36-37.

6. Заявка на изобр. № 3279432/23-26/СССР/ Способ автоматического управления процессом термической переработки тугоплавких материалов/ Гайдабура И.П., Карлов В.Ф., Изотов В.Т., Тодорцев Ю.К., Ваганов А.И., Теске Х., Маймур Г.В., Бурлаков В.А. - Заявл. 27.04.81. - Решение комитета о выдаче авт. свид-ва от 20.10.1981.

7. Заявка на изобр. № 3310472/23-26/СССР/Способ автоматического управления аэродинамическим режимом циклонного аппарата/ Теске Х., Килимник В.Г., Ваганов А.И., Тодорцев Ю.К., Гайдабура И.П. - Заявл. 24.06.1981. - Решение комитета о выдаче авт. свид-ва от 28.04.1982.

8. Заявка на изобр. № 3351794/23-26/СССР/ Способ автоматического управления аппаратом циклонного типа / Килимник В.Г., Теске Х., Гардт В.А., Тодорцев Ю.К., Гайдабура И.П., Левин В.И., Курбацкий Ю.Н. - Заявл. 27.10.1981. - Решение комитета о выдаче авт. свид-ва от 27.04.1982.

*Х. Теске*

Подписано к печати 19.10.82. Формат 60x84/16. Вульга множительных аппаратов. Офсетная. 1,27 усл. печ. л. 1,0 уч.-изд. л. Тираж 100. Зах. № 399. Бесплатно.  
Одесский ордена Трудового Красного Знамени политехнический институт. 270044, Одесса, пр. Шевченко, 1