

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

Перинская Елена Владимировна

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОБОСНОВАНИЕ
ПАРАМЕТРОВ АППАРАТОВ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИХ ПРОЦЕСС
ПЕРЕМЕШИВАНИЯ НЕОДНОРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Специальность 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные
методы и комплексы программ (технические науки)»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Донецк – 2019

Работа выполнена в ГОУВПО «ДОННТУ» Министерства образования и науки Донецкой народной республики (г. Донецк)

**Научный
руководитель**

Павлыш Владимир Николаевич,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Прикладная
математика» ГОУВПО «ДОННТУ» (г. Донецк)

**Официальные
оппоненты**

**Ведущая
организация**

Защита состоится «___» _____ 2019г. в _____ часов на заседании диссертационного совета Д 01.024.04 при ГОУВПО «ДОННТУ» и ГОУВПО «ДОННУ» по адресу 283001, г.Донецк, ул.Артёма, 58, 1 уч.корпус, ауд.1.203 Тел./факс +38(062)3043055, E-mail uchensovet@donntu.org

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУВПО «ДОННТУ» по адресу 283001, г.Донецк, ул.Артёма, 58, 1 уч.корпус
Адрес сайта университета <http://donntu.org>

Автореферат разослан «___» _____ 2019г.

Учёный секретарь Д 01.024.04
канд. техн. наук, доцент

Т.В. Завадская

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Технология изготовления ряда необходимых материалов предусматривает их получение из влажных неоднородных субстанций, перемешиваемых в процессе производства.

На многих предприятиях в составе технологического оборудования эксплуатируются машины и аппараты, содержащие узлы конвективного типа, а именно устройства, осуществляющие перемешивание неоднородных материалов, состоящих из жидкой и твердой фазы (технологические линии химических производств, предприятия строительных материалов, технологические процессы обогащения полезных ископаемых и т. п.). При этом качество конечного продукта во многом зависит от эффективности работы конвективных узлов.

В частности, конструкцией ряда электронных приборов предусмотрено применение узлов, основанных на изделиях из марганец-цинковых ферритовых порошков. Применяемый для их получения реактор-осадитель не позволяет получать осадки с хорошо воспроизводимыми свойствами без его реконструкции, т.к. в реакторе не достигается необходимая степень однородности компонентов в осадке, происходит залегание твердой фазы на днище, наблюдается налипание осадков на стенках. Реконструкция аппарата требует соответствующего обоснования, что вызывает необходимость теоретических и экспериментальных исследований.

Аналогичные проблемы требуют решения при проектировании машин, изготавливающих бетонные смеси, конструировании технологических линий, осуществляющих подготовку увлажнённых масс обогащённого угля, и в других отраслях.

Таким образом, стоит общая проблема расчета оптимальных параметров рассматриваемых аппаратов, что непосредственно связано с важной практической задачей повышения производительности и качества продукции.

Кардинальным направлением решения этой проблемы является применения математического моделирования с использованием современных моделей и компьютерных технологий.

В этой связи разработка детерминированных математических моделей процессов функционирования аппаратов, содержащих узлы конвективного типа, и обоснование с их применением эффективных параметров оборудования является актуальной научно-технической задачей, имеющей отраслевое значение.

Степень разработанности темы исследования. Вопросы совершенствования технологии и методов исследования процессов и аппаратов посвящены работы ряда отечественных и зарубежных авторов. Большой вклад в решение проблемы внесли работы, выполненные под руководством академика В.В. Кафарова (Бирюков Д.П., Дорохов И.Н., Еременко В.В. и др.), где рассмотрены конструкции аппаратов и методы расчета параметров, теоретические и технологические основы процессов.

Вместе с тем, остается ряд нерешенных задач в области оптимизации параметров и совершенствования конструкций аппаратов. Одним из эффективных методов решения рассматриваемых задач является метод математического моделирования, позволяющий получить с помощью компьютерных технологий достаточно широкий набор данных о реконструируемом объекте без проведения долговременных и дорогостоящих натурных исследований.

Целью работы является совершенствование математических моделей, вычислительных алгоритмов и программных средств для исследования процессов и обоснования параметров технологических систем, содержащих узлы конвективного типа.

Для достижения поставленной цели сформулированы и решены **следующие задачи:**

- выполнить анализ технологических схем и процессов функционирования оборудования, осуществляющего перемешивание многокомпонентных смесей с целью определения особенностей протекания процессов и определения параметров, влияющих на качество конечной продукции;
- разработать математические модели и провести компьютерные исследования процессов в условиях вариации технологических параметров;
- проанализировать математические модели и провести моделирование процессов в условиях применения конструктивных модификаций оборудования;
- систематизировать результаты моделирования технологии и разработать алгоритмы обоснования параметров процессов, обеспечивающих повышение эффективности работы оборудования;
- разработать рекомендации по модернизации параметров технологических процессов и оборудования;
- разработать методы инженерного расчёта параметров процесса для обеспечения оперативной оценки их значений при проектировании;
- разработать структуру системы автоматизированного проектирования оборудования и технологии процессов конвективной обработки многокомпонентных материалов;
- разработать рекомендации для практического применения результатов работы в области производства многокомпонентных материалов методом конвективного воздействия.

Объект исследований – процессы функционирования оборудования, осуществляющего производство продукции из многокомпонентных смесей способом конвективной обработки.

Предмет исследований – математические модели, вычислительные методы и алгоритмы компьютерного исследования процессов, направленные на модификацию параметров оборудования.

Идея работы состоит в использовании особенностей протекания процессов конвективной диффузии, происходящих при осуществлении

перемешивания многокомпонентных неоднородных материалов, для обоснования модификации параметров, обеспечивающих повышение эффективности производства.

Методы исследования. Для решения поставленных задач в работе применен комплексный метод, включающий в себя: анализ и обобщение данных исследований процессов конвективного перемешивания и методов расчета параметров оборудования; математическое моделирование процессов на основе детерминированных математических моделей; теоретическое обоснование путей повышения эффективности процессов за счет модификации параметров; компьютерные эксперименты для исследования и обоснования параметров процессов.

Связь работы с научными программами, планами, темами. Работа выполнена в соответствии с тематическими планами Донецкого национального технического университета и является частью исследований, в которых автор принимала участие как исполнитель: гостемы Н-19-10 «Разработка и исследование математических моделей и прикладного программного обеспечения для компьютерного моделирования и расчета параметров сложных динамических систем», № Государственной регистрации 0113U000955; гостемы Н-25-05 «Исследование процессов, разработка математических моделей, прикладного и системного программного обеспечения для моделирования и расчета параметров динамических систем»; гостемы Н-18-15 «Исследование и разработка математических моделей и программного обеспечения для моделирования и расчёта параметров динамических систем»; гостемы Н-20-18 «Исследование процессов, разработка математических моделей и программного обеспечения для компьютерного моделирования и расчёта параметров сложных динамических систем».

Научная новизна и практическая ценность полученных результатов.

Научная новизна:

– Впервые разработана детерминированная математическая модель процесса принудительной конвекции неоднородных смесей, в основу которой положены уравнения математической физики. Использование новой модели позволяет определить влияние основных параметров оборудования на качество продукции.

– Впервые обоснован выбор и выполнена модификация вычислительных методов для компьютерной реализации модели с учётом технологических параметров оборудования.

– Обоснованы направления совершенствования параметров оборудования для повышения качества конечного продукта.

– Получила дальнейшее развитие теория проектирования аппаратов, осуществляющих процессы перемешивания многокомпонентных смесей как основу для производства новой технологической продукции в виде композиции исходных материалов.

Практическая ценность:

– Разработаны алгоритмы и пакеты прикладных программ для компьютерной реализации предложенной детерминированной математической модели процесса принудительного перемешивания неоднородных смесей, что позволяет исследовать параметры функционирования аппаратов конвективного типа в различных отраслях производства.

– На основании результатов вычислительного эксперимента обоснованы значения усовершенствованных параметров аппарата для получения ферритового порошка с целью устранения выявленных недостатков существующих агрегатов.

Результаты исследований имеют широкий спектр применения для различных предметных областей. Предложенная практическая реализация разработанной модели позволяет формировать базы данных о возможных наборах параметров оборудования для использования в системах автоматизированного управления и проектирования, что может послужить функциональным дополнением и развитием информационных систем различных предприятий и организаций.

Теоретическая значимость работы состоит в том, что обоснованная методика построения детерминированной математической модели, основанной на уравнениях в частных производных, отражающих физику процессов, происходящих в неоднородной сплошной среде при конвективном воздействии механических устройств, является новым эффективным теоретическим инструментом исследования технологических процессов без проведения долгосрочных дорогостоящих промышленных экспериментов. Предложенный подход в дальнейшем может быть расширен и дополнен функциями автоматического управления и автоматизированного проектирования для повышения качества выходной продукции, а также позволяет ставить и решать большой спектр статистических и математических расчетных задач, связанных с принятием решений, имеющих место в технологических системах. Развитие данной разработки может осуществляться путем дополнения ее новыми решениями в области аналитического и численного анализа технологических схем, усовершенствования методов организации и управления специализированными производствами.

Практическая значимость полученных результатов заключается в том, что результаты исследований имеют широкий спектр применения для различных предметных областей. Предложенная практическая реализация разработанной модели позволяет формировать базы данных о возможных наборах параметров оборудования для использования в системах автоматизированного управления и проектирования, что может послужить функциональным дополнением и развитием информационных систем различных предприятий и организаций.

Научные положения, выносимые на защиту.

1. Установлено, что основное влияние на процесс конвективного перемешивания многокомпонентных материалов оказывают как

геометрические (координаты установки элемента вращения, координаты расположения входных трубопроводов для поступающих компонентов), так и технологические параметры (скорость вращения конвективного элемента).

2. Показано, что обоснованные методы модификации параметров оборудования способствуют повышению эффективности процесса и качества получаемых материалов.

Степень достоверности и обоснованности результатов, положений и выводов обеспечивается корректным использованием результатов исследований, имеющих широкий спектр применения для различных отраслей, использующих процессы принудительной конвекции неоднородных смесей; предложенная практическая реализация результатов математического моделирования позволяет рекомендовать способы модификации технологии и параметров, что может послужить новым решением задачи повышения качества продукции, а также развития теории построения систем автоматизации управления процессами и проектирования оборудования.

Реализация выводов и рекомендаций работы подтверждается:

– внедрением в практику работы производственно-технологического отдела ООО «СЛАВЕН» (Российская федерация, г. Ростов-на-Дону) математических моделей и рекомендаций по их применению для определения и управления параметрами процессов перемешивания влажных многокомпонентных неоднородных материалов в закрытых аппаратах конвективного типа (акт о внедрении от 12 мая 2019г., протокол технического совещания рабочей группы № 3/05.19 от 12 мая 2019г., справка о внедрении, утверждённая директором предприятия);

– внедрением в учебный процесс ГОУ ВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» (справка № 52.1-04/19 от 14.05.2019 об использовании в учебном процессе при чтении лекций и проведении практических занятий на кафедрах «Искусственный интеллект и системный анализ» и «Прикладная математика» по дисциплинам: «Уравнения математической физики», «Математическое моделирование», «Вычислительная математика», «Разностные методы решения краевых задач», «Информационные системы и технологии», «Численные методы», «Математические пакеты прикладных программ»).

Апробация результатов диссертации.

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на: VII Международной научно-методической конференции «Современные проблемы техносферы и подготовки инженерных кадров» в городе Сусс (Тунис) с 08 по 17 октября 2013 г.; IX международной научно-практической конференции «Проблемы горного дела и экологии горного производства» (24-25 апреля 2014 г., г. Антрацит); XXI Международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века» (г. Севастополь, 15 – 20 сентября 2014г.); VIII Международной научно-методической конференции «Современные проблемы техносферы и подготовки инженерных кадров» в г. Хаммамет (Тунис) с 28 сентября по 5

октября 2014 г.; XXIII международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века» в г. Севастополе 12-18 сентября 2016 г.; IX Международной научно-методической конференции «Современные проблемы техносферы и подготовки инженерных кадров» в городе Сухум, 01 – 09 октября 2016 г.

Личный вклад соискателя состоит в формулировании цели, задач исследований, основных научных положений и выводов, разработке математических моделей и программного обеспечения для их компьютерной реализации, разработке рекомендаций по практическому применению результатов; основные научные результаты диссертации включают в себя детерминированные математические модели, достаточно полно учитывающие особенности протекания процессов перемешивания неоднородных материалов, вычислительные методы, алгоритмы и программные комплексы для компьютерной реализации моделей, что впервые позволило получить полное представление о процессах, выявить причины недостатков существующих способов проектирования оборудования, определить направление повышения качества производимой продукции за счёт обоснования новых параметров оборудования; текст диссертации написан автором самостоятельно.

Публикации. Основные научные результаты диссертации опубликованы в 16 научных работах, из них 7 статей в специализированных изданиях, рекомендованных ВАК ДНР и в рецензируемых журналах, 3 в других изданиях (в том числе 2 монографии), результаты прошли апробацию и опубликованы в материалах 6 международных научно-технических конференций. Публикации в достаточной мере отражают содержание работы.

Соответствие темы и содержания диссертации паспорту научной специальности.

Полученные результаты, положения и выводы отвечают требованиям паспорта специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки)», в частности: п.1 «Разработка новых математических моделей и методов компьютерного моделирования явлений, объектов, систем и процессов»; п.4 «Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительных экспериментов»; п.5 «Комплексные исследования научных и технических проблем с применением современных технологий математического моделирования и вычислительного эксперимента».

Тема и содержание диссертации «Математическое моделирование и обоснование параметров аппаратов, осуществляющих процесс перемешивания неоднородных материалов» на соискание ученой степени кандидата технических наук соответствует паспорту научной специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки)», по которой диссертационному совету Д 01.024.04 предоставлено право принимать диссертационные работы к защите.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 разделов и заключения, изложена на 152 страницах машинописного текста, содержит 49 рисунков, 16 таблиц, список использованной литературы из 129 наименований и 2 приложения на 5 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первом разделе «Анализ теоретических основ и технологии процессов производства промышленных материалов с применением конвективного воздействия на многокомпонентные смеси. Цель и задачи исследования» на основании результатов анализа исследований ряда авторов и организаций установлено, что одним из основных сдерживающих факторов при внедрении современных технологических решений является несовершенство имеющегося в настоящее время математического аппарата для исследования процессов и расчета параметров технологических схем.

Наиболее эффективным современным средством решения данной задачи является метод математического моделирования с применением детерминированных математических моделей.

На базе математической модели объекта формируются критерии качества и ограничения, выбираются структура и параметры проекта системы, технические средства реализации.

Проведенные исследования позволили сформулировать цель и задачи работы.

Во втором разделе «Математическое моделирование процесса работы и обоснование параметров аппарата конвективного типа для получения ферритового порошка» выполнено обоснование направления развития математических основ для исследования и обоснования параметров процесса конвективного воздействия на неоднородные смеси.

Построена базовая математическая модель процесса перемешивания многокомпонентной смеси в химическом реакторе с учетом вынужденной конвекции массы. Конвекция происходит за счет перемешивания смеси лопастью, угловая скорость вращения которой ω .

Рассматривается следующая задача. В области G (химический реактор, рисунок 1) требуется определить концентрацию твердой фазы, учитывая при этом вихревые течения раствора, продольную и поперечную диффузию, форму реактора и угловую скорость вращения лопасти, причем процесс перемешивания происходит в реакторе за заданное время T .

Схема построения математической модели реактора приведена на рисунке 1.

Большое количество работ по численному решению краевых задач со свободной границей, связанных с перемешиванием многокомпонентной среды, выполнено акад. В.В. Кафаровым. При этом понимается, что известно поле скоростей раствора в химическом реакторе. В данной же работе предложена математическая модель химического реактора, позволяющая рассчитывать это поле в процессе решения краевой задачи. В этом состоит существенное отличие предлагаемой модели от рассмотренных ранее.

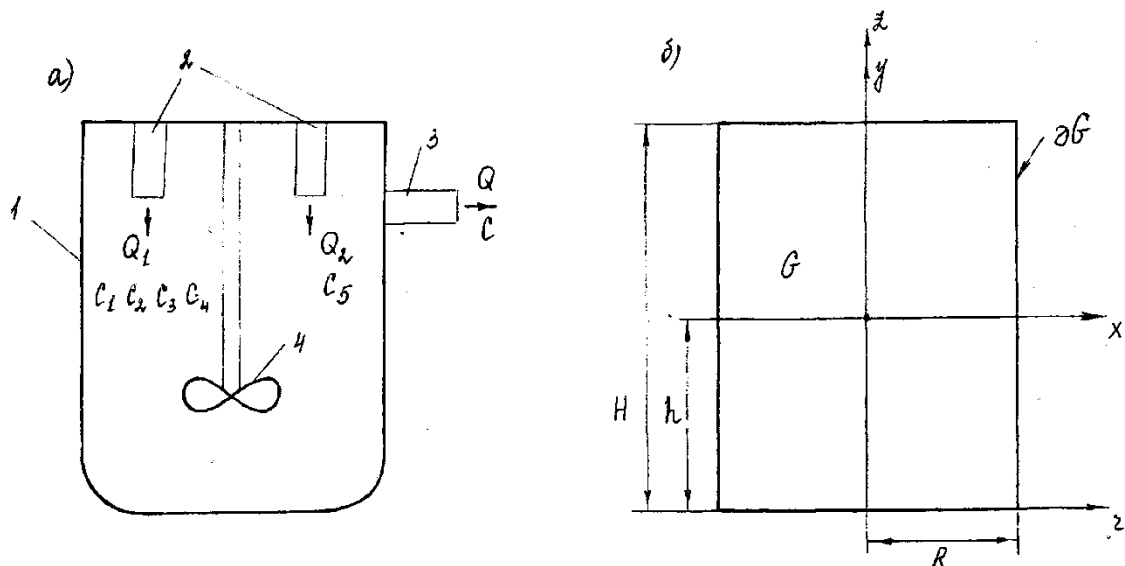


Рисунок 1 – Схема построения математической модели реактора:

а) 1 – корпус, 2 – входные трубопроводы, 3 – верхний перелив (выходной трубопровод), 4 – мешалка.

б) к выбору координат и построению различных типов моделей.

Простейшей моделью является модель идеального перемешивания. При этом концентрация твердой фазы является функцией только времени, т.е. $C=C(t)$.

Второй моделью является одномерная модель перемешивания многокомпонентной среды в химическом реакторе с учетом вихревого течения раствора. При этом поле скоростей раствора рассчитывается в плоском случае. Введя функцию тока $\psi(x, y)$, мы определяем ее из решения краевой задачи для уравнения Пуассона.

Физика процесса, осуществляемого за счёт вращения конвективного элемента, отражается функцией:

$$\mu(x, y) = \frac{\omega}{\nu(l^2 x^2 + h^2 y^2)}, \quad x \neq 0, \quad y \neq 0, \quad \mu(0,0) = \omega$$

где ω - угловая скорость вращения лопасти (мешалки), ν - коэффициент вязкости раствора, h - характерный поперечный размер реактора, l - продольный размер реактора.

Введя функцию тока $\psi(x, y)$, запишем задачу в виде:

$$\frac{1}{l^2} \cdot \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{1}{h^2} \cdot \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = \mu(x, y), \quad (x, y) \in G$$

$$\psi(x, y) = 0, \quad (x, y) \in \partial G$$

При этом вектор скорости частицы \vec{V} и функция тока $\psi(x, y)$ связаны следующими равенствами:

$$V_x = \frac{\partial \psi}{\partial y}; \quad V_y = -\frac{\partial \psi}{\partial x};$$

Наиболее интересной и практически важной является осесимметрическая модель химического реактора. В этом случае

геометрическими переменными являются радиус r и высота z . Тогда функцией тока $\psi(r, z)$ является решение такой краевой задачи

$$\frac{1}{H^2} \cdot \frac{\partial \psi^2}{\partial z^2} + \frac{1}{R^2} \cdot \frac{\partial^2 \psi}{\partial r^2} - \frac{1}{R^2 \cdot r} \cdot \frac{\partial \psi}{\partial r} = \frac{r \cdot \omega \cdot R}{R^2 r^2 + H^2 \cdot z^2};$$

$$D = (0 < r < 1, 0 < z < 1)$$

$$\psi(r, z) = 0; (r, z) \in \partial D$$

(H и R – характерные размеры реактора).

После того, как поле скоростей частиц в химическом реакторе определено из решения краевой задачи, концентрация твердой фазы $C(t, r, z)$ находится из решения следующей задачи:

$$\frac{1}{T} \cdot \frac{\partial C}{\partial t} = \frac{1}{r \cdot R \cdot H} \cdot \frac{\partial \psi}{\partial r} \cdot \frac{\partial C}{\partial z} - \frac{1}{r \cdot R \cdot H} \cdot \frac{\partial \psi}{\partial z} \cdot \frac{\partial C}{\partial r} + D_H \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} +$$

$$+ \frac{D_R}{r \cdot R} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(r \cdot \frac{\partial C}{\partial r} \right) + \frac{Q_1(C_1 + C_2 + C_3 + C_4) + Q_2 C_5 - QC}{V}$$

$$0 < r < 1, 0 < z < 1$$

$$\frac{\partial C}{\partial n} = 0, (t, r, z) \in \partial D \times [0, T]$$

$$C(0, r, z) = C_0$$

(здесь \vec{n} – внешняя нормаль к области $D \times [0, T]$).

Как указывалось выше, отличие этих моделей от известных ранее состоит в том, что поле скоростей частиц в химическом реакторе определяется в процессе решения задач.

При численном решении краевых задач, моделирующих процессы в химическом реакторе, соответствующие дифференциальные уравнения заменяются конечно-разностными.

В основе численной реализации модели лежит приближенное решение эллиптического и параболического уравнений, завязанных между собой в систему двух уравнений посредством правой части. Тогда задача содержит две неизвестные функции $\psi(x, y)$ и $C(t, x, y)$.

Заменяя уравнение разностным соотношением, получаем:

$$\frac{1}{T} \cdot \frac{C_{ij}^{k+0,5} - C_{ij}^k}{0,5H_T} = -\frac{V_x}{l} \cdot \frac{C_{i+1,j}^{k+0,5} - C_{ij}^{k+0,5}}{h \cdot H_x} - \frac{V_y}{h} \cdot \frac{C_{i,j+1}^k - C_{ij}^k}{H_y} + \frac{D_L}{l^2} \cdot \frac{C_{i+1,j}^{k+0,5} - 2C_{ij}^{k+0,5} + C_{i-1,j}^{k+0,5}}{H_x^2} +$$

$$+ \frac{D_H}{h^2} \cdot \frac{C_{i,j+1}^k - 2C_{ij}^k + C_{i,j-1}^k}{H_y^2} + f.$$

Здесь H_T – шаг по времени, H_x – шаг по переменной x а H_y – шаг по переменной y , $C_{ij}^k = C(t_k, x_i, e_j)$. Далее, вначале на шаге $(k+0,5)$ решается система уравнений для продольного смещения:

$$\frac{D_L}{l^2 \cdot H_x^2} \cdot C_{i-1,j}^{k+0,5} - \left(\frac{1}{0,5 \cdot T \cdot H_T} - \frac{V_x}{l \cdot H_x} + \frac{2 \cdot D_L}{l^2 \cdot H_x^2} \right) \cdot C_{ij}^{k+0,5} + \left(\frac{D_L}{l^2 \cdot H_x^2} - \frac{V_x}{l \cdot H_x} \right) \cdot C_{i+1,j}^{k+0,5} =$$

$$\left(\frac{V_y}{h \cdot H_y} - \frac{D_H}{h^2 \cdot H_y^2} \right) \cdot C_{i,j+1}^k + \left(\frac{2 \cdot D_H}{h^2 \cdot H_y^2} - \frac{1}{0,5 \cdot T \cdot H_T} - \frac{V_y}{h \cdot H_y} \right) \cdot C_{ij}^k - \frac{D_H}{h^2 \cdot H_y^2} \cdot C_{i,j-1}^k - f.$$

Затем на $(k+1)$ шаге – система для поперечного смещения (схема Дугласа):

$$\begin{aligned} & \frac{D_H}{h^2 \cdot H_y^2} \cdot C_{i,j-1}^{k+1} - \left(\frac{1}{0,5 \cdot T \cdot H_T} - \frac{V_y}{h \cdot H_y} + \frac{2 \cdot D_H}{h^2 \cdot H_y^2} \right) \cdot C_{ij}^{k+1} + \left(\frac{D_H}{h^2 \cdot H_y^2} - \frac{V_y}{h \cdot H_y} \right) \cdot C_{i,j+1}^{k+1} = \\ & \left(\frac{V_x}{l \cdot H_x} - \frac{D_L}{l^2 \cdot H_x^2} \right) \cdot C_{i+1,j}^{k+0,5} + \left(\frac{2 \cdot D_L}{l^2 \cdot H_x^2} - \frac{1}{0,5 \cdot T \cdot H_T} - \frac{V_x}{l \cdot H_x} \right) \cdot C_{ij}^{k+0,5} + \frac{D_L}{l^2 \cdot H_x^2} \cdot C_{i-1,j}^{k+0,5} + f. \end{aligned}$$

При численном построении поля скоростей краевая задача заменяется конечно-разностным аналогом. При этом:

$$\psi(x_i, y_j) = \psi_{ij}; \quad i = 0, 1, \dots, N; \quad j = 0, 1, \dots, M;$$

$$\psi_{0j} = \psi_{Nj} = 0; \quad \psi_{i0} = \psi_{iM} = 0.$$

Уравнение в разностном варианте принимает вид:

$$\psi_{ij} = \frac{1}{4} (\psi_{i-1,j} + \psi_{i+1,j} + \psi_{i,j-1} + \psi_{i,j+1})$$

$$i = 0, 1, \dots, N; \quad j = 0, 1, \dots, M.$$

Основная программа разработана с целью численного моделирования гидродинамических процессов при работе машин конвективного типа на примере реактора для получения ферритового порошка.

В основу модели положено уравнение конвективной диффузии в прямоугольной области, представляющей осевое сечение реактора.

Уравнение в безразмерных величинах имеет вид:

$$\frac{1}{T} \cdot \frac{\partial C}{\partial t} = \frac{1}{l \cdot h} \cdot \frac{\partial \psi}{\partial y} \cdot \frac{\partial C}{\partial y} - \frac{1}{l \cdot h} \cdot \frac{\partial \psi}{\partial y} \cdot \frac{\partial C}{\partial x} + \frac{D_L}{l^2} \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{D_H}{h^2} \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + f_1 + f_2 + f_3$$

$$0 < x < 1, \quad 0 < y < 1, \quad 0 < t < 1 \quad (1)$$

Начальное условие:

$$C(x, y, 0) = C_0 \quad (2)$$

Граничные условия при отсутствии обмена с внешней средой:

$$C_x(0, y, t) = C_x(1, y, t) = 0$$

$$C_y(x, 0, t) = C_y(x, 1, t) = 0 \quad (3)$$

Функции f имеют вид:

$$f_1 = \begin{cases} 0 & x \neq x_1 \quad y \neq y_1 \\ \frac{Q_1 \cdot (C_1 + C_2 + C_3 + C_4)}{V1} & x = x_1 \quad y = y_1 \end{cases} \quad (4)$$

$$f_2 = \begin{cases} 0 & x \neq x_2 \quad y \neq y_2 \\ \frac{Q_2 \cdot C_5}{V1} & x = x_2 \quad y = y_2 \end{cases} \quad (5)$$

$$f_3 = \begin{cases} 0 & x \neq x_3 \quad y \neq y_3 \\ -\frac{Q \cdot C}{V1} & x = x_3 \quad y = y_3 \end{cases} \quad (6)$$

Функция тока $\psi(x, y)$ определяется из решения краевой задачи

$$\frac{1}{l^2} \cdot \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{1}{h^2} \cdot \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = \mu(x, y),$$

$$0 < x < 1, \quad 0 < y < 1 \quad (7)$$

$$\mu(x, y) = \begin{cases} \frac{W}{VI} & x = x_0 \quad y = y_0 \\ \frac{W}{VI \cdot FN \cdot (l^2(x - x_0)^2 + h^2 \cdot (y - y_0)^2)} & x \neq x_0 \quad y \neq y_0 \end{cases} \quad (8)$$

$$\psi(x, 0) = \psi(x, 1) = \psi(0, y) = \psi(1, y) = 0 \quad (9)$$

Представленная система описывает процессы распределения твердой фазы при конвективном перемешивании суспензии в цилиндре.

Переменные, указанные в уравнениях, имеют следующий смысл:

x, y - координаты пространства, безразмерные величины; t - время, с; C - концентрация твердой фазы в рабочем объеме цилиндра, содержащего суспензию, г/см³; l - максимальный размер по оси X (радиус цилиндра), см; H - максимальный размер по оси Y (высота цилиндра), см; VI - площадь поперечного сечения цилиндра, см²; D_L, D_H - коэффициенты продольной и поперечной диффузии, безразмерные величины; f_1, f_2 - функции, отражающие точечные источники твердой фазы, если они есть, г/(с·см); f_3 - функция, отражающая отток суспензии, г/(с·см); C_0 - начальное распределение концентрации твердой фазы, г/см³; $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$ - координаты точечных источников; (x_3, y_3) - координаты точечного оттока; Q_1, Q_2 - интенсивность источников, см³/с; C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 - характеристики источников (концентрация), г/см³; Q - интенсивность оттока ($Q = Q_1 + Q_2$) см³/с; C - характеристика оттока, г/см; T - время исследования процесса, с; W - угловая скорость вращения лопасти, если в рабочем объеме устанавливается устойчиво конвективное перемешивание (при его отсутствии $W = 0$), об/с; x_0, y_0 - координаты источника вращения; FN - вязкость суспензии, безразмерная величина.

Для исследования на компьютере гидродинамических параметров разработана программная модель.

Назначение программы - численное решение задачи о распределении концентрации раствора в химическом реакторе (1) - (6).

Для решения задачи моделирования программа требует исходные данные: R - радиус цилиндра см; H - высота цилиндра см; $TMAX$ - время исследования процесса, с; HX, HY, HT - шаг по осям x, y, t ; $EV1, EV2$ - окрестности точки (x_0, y_0) ; ER - требуемая точность решения; (x_0, y_0) - координаты лопасти мешалки; $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$ - координаты источников; (x_3, y_3) - координаты оттока; VI - площадь поперечного сечения исследуемого цилиндра, см²; W - угловая скорость вращения перемешивателя, об/с; FN - вязкость суспензии; C_0 - начальное распределение концентрации, г/см³; Q_1, Q_2 - интенсивности источников, см³/с; C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 - характеристики источников твердой фазы (концентрация);

Последовательность вводимых данных строго определена, и изменить ее без изменения программы нельзя.

Результаты выводятся на печать или экран в виде таблиц, снабженных комментариями, что упрощает их обработку. По этим данным строятся кривые равного уровня, причем отрицательные значения опускаются (они соответствуют наличию «вихрей»).

Результаты моделирования и практические рекомендации.

В процессе математического моделирования работы реактора ставились 2 основные задачи; 1) задача идентификация математической модели; 2) задача собственно моделирования, направленная как на поиск путей совершенствования параметров реактора, так и на исследование режимов и характеристик имеющейся аппаратуры.

Для решения первой задачи были проведены машинные эксперименты, позволившие подобрать такие параметры модели, которые позволят применять программную модель к исследованию аналогичных реакторов.

В плане поиска путей совершенствования параметров реактора данная модель позволяет исследовать гидродинамические параметры реактора: положение источников входных веществ, положение и скорость вращения лопасти мешалки.

Зададим скорость вращения постоянной во всех точках сечения (идеализированный вариант) и равной 0,7 (в безразмерных величинах). Рассмотрим результаты моделирования для различных положений точек с сосредоточенной концентрацией C_1, C_2, C_3, C_4 и C_5 (расходы $Q_1=25, Q_2=40$).

На рисунке 2 приведены линии равного уровня концентрации C для трех вариантов.

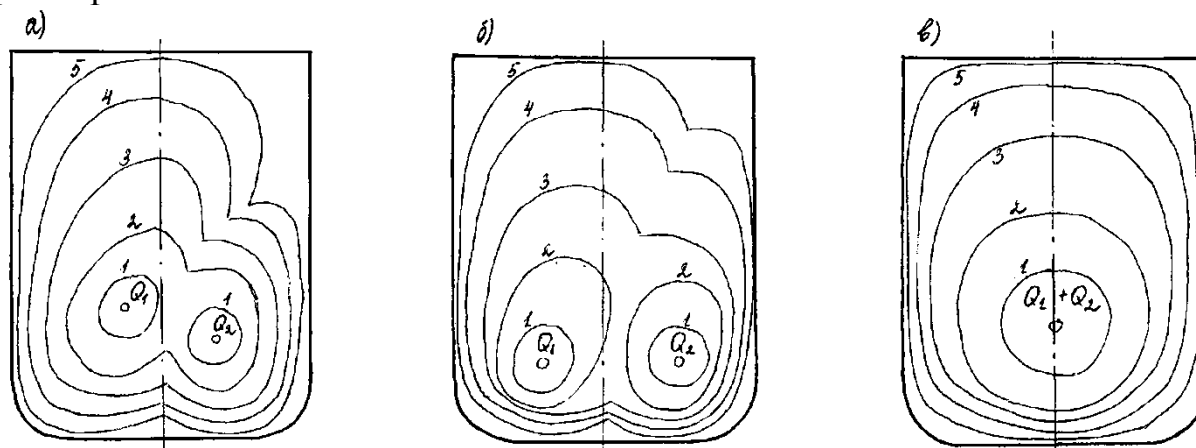


Рисунок 2 – Распределение относительных концентраций твердой фазы для различных положений источников реагентов:

а) несовпадающие случайные координаты; б) несовпадающее симметричное положение; в) расположение в общей точке.

Линия 1 соответствует 70%, шаг построения – 10%

Как показывают результаты, наиболее равномерное распределение достигается, когда оба источника находятся в одной точке. Физически это

объясняется тем, что расположение в разных точках из-за разной величины Q_1 , Q_2 их произведения на концентрацию имеет разное значение:

$$Q_1(C_1, C_2, C_3, C_4) = 25(185,3 + 20,6 + 57,3 + 2,5) = 6642,5$$

$$Q_2 C_5 = 40 \cdot 210 = 8400.$$

Следовательно, влияние на результат оказывается разное, и кривые искажаются. При задании источника в одной точке влияние оказывается суммарное и на всем сечении одинаковое. В дальнейшем будем считать координаты источников совпадающими.

Зададим положение лопасти на расстоянии четверти высоты от дна и проведем моделирование для скоростей 0,5; 0,7; 0,9. На рисунке 3 приведено распределение концентраций для этих случаев. На рисунке видно, что чем выше скорость, тем меньше "залегание" твердой фазы на дне.

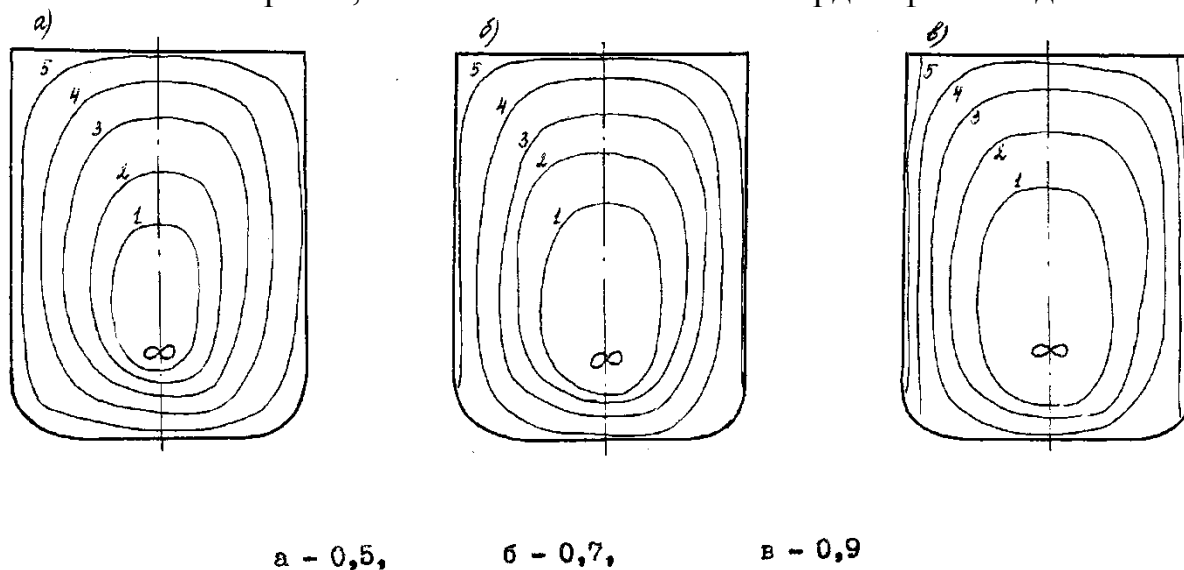


Рисунок 3 – Распределение концентрации твердой фазы при различных скоростях вращения лопасти

Зададим скорость 0,7 и рассмотрим различные положения вдоль вертикальной оси. На рисунке 4 приведены результаты моделирования для этих случаев. Как следует из рисунка, наилучшим положением для борьбы с «залеганием осадка» является максимально приближенное к дну.

Таким образом, математическое моделирование позволило установить ориентировочные параметры, обеспечивающие рациональный гидродинамический режим работы реактора, а именно: расположение источников в общей точке, скорость вращения 350-400об/мин, положение лопасти в придонной области, а также скорость вращения лопасти 500-550об/мин при расположении источника над диффузором и 700об/мин при его расположении под диффузором.

В третьем разделе «Расширение пакета математических моделей процесса и обоснование структуры системы автоматизированного проектирования оборудования» выполнено расширение математической базы для исследования и расчёта параметров процесса.

Математические модели процессов получения суспензии в аппаратах с конвективными компонентами основываются на уравнениях в частных

производных и позволяют исследовать основные параметры технологического оборудования с помощью компьютера.

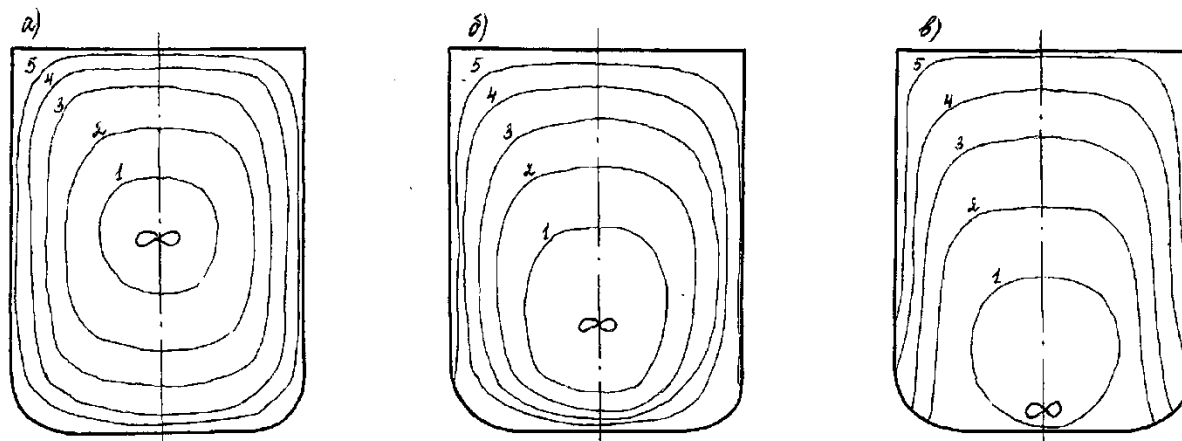


Рисунок 4 – Распределение концентрации твердой фазы при различных положениях лопасти: а – в центре реактора; б – в четверть высоты; в – в придонной зоне.

Вместе с тем, для оперативного расчета параметров процесса важно иметь приближенные зависимости, позволяющие обойтись без применения компьютера. Задачей данной работы является разработка модели, основанной на критериальных зависимостях.

В работе получено критериальное уравнение:

$$d \cdot \frac{q^{1/3}}{v^{1/3}} = k \cdot \left(C_1 \cdot \frac{v^{2/3} q^{2/3}}{\rho} \right)^{x_1} \left(C_2 \cdot \frac{v^{2/3} q^{2/3}}{\rho} \right)^{x_2} \left(C_3 \cdot \frac{v^{2/3} q^{2/3}}{\rho} \right)^{x_3} \left(C_4 \cdot \frac{v^{2/3} q^{2/3}}{\rho} \right)^{x_4} \times \\ \times \left(C_5 \cdot \frac{v^{2/3} q^{2/3}}{\rho} \right)^{x_5} \left(\frac{Q_1 \cdot q}{v\rho} \right)^{y_1} \left(\frac{Q_2 \cdot q}{v\rho} \right)^{y_2} \left(\frac{Q \cdot q}{v\rho} \right)^{y_3} \left(\frac{\omega \cdot v^{1/3}}{q^{2/3}} \right)^n \left(\frac{D \cdot q^{1/3}}{v^{2/3}} \right)^{z_1} \left(\frac{H \cdot q^{1/3}}{v^{1/3}} \right)^{z_2} \times \\ \times \left(\frac{T \cdot q^{2/3}}{v^{1/3}} \right)^j \left(\frac{\tau \cdot q^{2/3}}{v^{1/3}} \right)^p \left(\frac{Q_1}{Q_2} \right)^\mu (pH)^\alpha$$

Используя полученную формулу, определяем удельную поверхность:

$$S_{y\sigma} = \frac{6000}{d \cdot \rho}$$

Выбор критериев оценки повышения эффективности при модификации параметров производится в соответствии с основным требованием: повышение равномерности распределения перемешиваемой массы в рабочем объеме аппарата.

Наиболее эффективные результаты работы конвективного аппарата соответствуют максимально возможному размеру зоны высокой активности.

В работе предложено создание подсистемы автоматизированного проектирования, которая призвана повысить качество проектов за счет эффективного применения компьютерных технологий для реализации трудоемких рутинных функций.

На рисунке 5 приведена функционально-логическая схема системы автоматизированного проектирования (САПр) технологии процесса конвективного перемешивания.

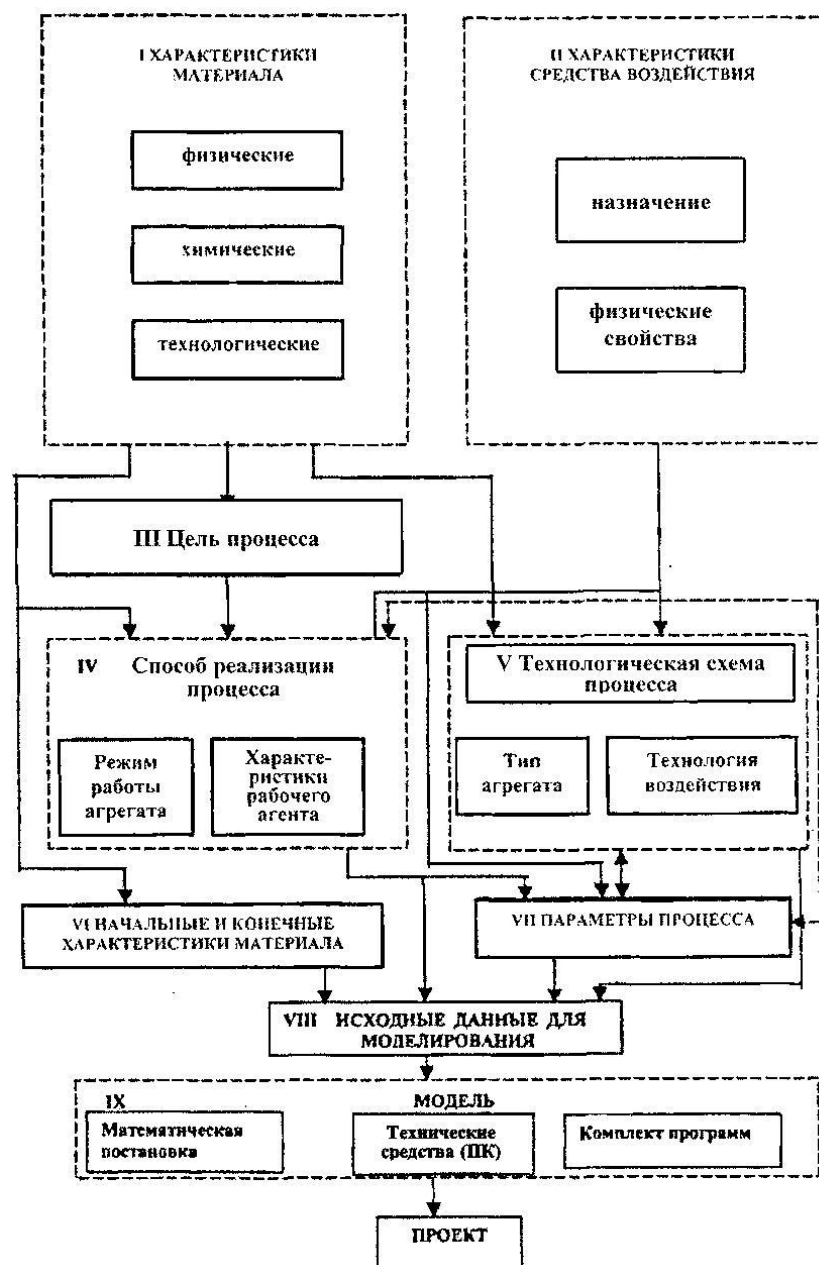


Рисунок 5 – Функционально-логическая схема системы автоматизированного проектирования технологических схем

В четвёртом разделе «Обоснование структуры, параметров и элементов системы автоматизированного управления процессом конвективного воздействия на многокомпонентные смеси» рассмотрены задачи обоснования структуры, выбора элементной базы и совершенствования характеристик структурных элементов системы автоматизированного управления процессом конвективной обработки многокомпонентных смесей при производстве промышленных материалов. Разработаны рекомендации по применению программных разработок и дальнейшему развитию теоретических основ процессов конвективного воздействия на многокомпонентные смеси.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, в которой получено новое решение актуальной научно-технической задачи, заключающейся в развитии и совершенствовании математических моделей, вычислительных алгоритмов и программных средств для исследования процессов и обоснования параметров технологических систем, содержащих узлы конвективного типа, что обеспечивает повышение эффективности и качества производства композитных промышленных материалов, получаемых за счёт перемешивания многокомпонентных смесей.

Основные научные результаты, полученные в работе, можно сформулировать следующим образом.

1. В результате анализа данных теоретических и экспериментальных исследований ряда авторов и организаций показано, что одной из основных задач повышения эффективности процессов производства материалов на основе конвективного перемешивания является задача разработки новых методов теоретических и экспериментальных исследований. Наиболее эффективным современным средством решения данной задачи является метод математического моделирования с применением детерминированных математических моделей.

2. Разработаны математические модели основных типов:

а) модель идеального перемешивания, при котором концентрация твердой фазы является функцией только времени; модель построена таким образом, чтобы она учитывала концентрации компонент, поступающих в химический раствор, их расход и расход раствора, выходящего из химического реактора;

б) одномерная модель перемешивания многокомпонентной среды в химическом реакторе с учетом вихревого течения раствора, при этом поле скоростей раствора рассчитывается в плоском случае из решения краевой задачи для уравнения Пуассона;

в) разработаны также осесимметрическая и плоская модели перемешивания в химическом реакторе, отличие которых от указанных выше моделей состоит в том, что концентрации являются соответственно функциями пространственных координат $C(z, r, t)$ и $C(x, y, t)$.

3. Выполнена численная реализация краевых задач, составляющих математические модели, и разработаны алгоритмы для компьютерного моделирования процессов.

4. Разработаны компьютерные программы для реализации математических моделей всех типов и проведены исследования параметров процессов, определяющих направления совершенствования аппаратов.

5. Проведенные численные эксперименты позволили сформировать рекомендации по совершенствованию конструкций аппарата для улучшения гидродинамических параметров.

6. Конструктивные усовершенствования, позволяющие повысить качество конечного продукта, заключаются в изменении положения источников исходных реагентов, изменении положения лопасти

перемешивающего устройства с целью его максимального приближения к днищу реактора, а также в увеличении числа оборотов лопасти.

7. Для обеспечения оперативных инженерных расчётов на основании редукции краевой задачи к системе алгебраических соотношений построена критериальная модель, которая позволяет исследовать численным путем зависимость диаметра кристалла получаемого в аппарате вещества d от 19 переменных. Результаты численных расчётов с использованием данной модели позволяют установить соответствующие инженерные зависимости. Данной зависимостью можно пользоваться при прогнозировании величины удельной поверхности твёрдой фазы $S_{уд}$ в зависимости от основных параметров при помощи компьютера.

8. Разработаны критерии оценки повышения эффективности процесса конвективного перемешивания при модификации технологических параметров в соответствии с основным требованием: повышение равномерности распределения перемешиваемой массы в рабочем объёме аппарата.

9. С использованием разработанных критериев проведено исследование эффективности процесса в зависимости от параметров технологической схемы, результаты которых подтверждают ранее полученные данные математического моделирования.

10. Разработана функционально-логическая схема системы автоматизированного проектирования (САПр) технологии процесса, на основании построенной математической модели разработан алгоритм функционирования головной программы математического обеспечения системы. По результатам исследований могут быть разработаны рекомендации, предназначенные для работников служб и подразделений предприятий, выполняющих работы по проектированию и эксплуатации технологических схем и оборудования.

11. Для реализации методов повышения эффективности процесса и качества продукции, получаемой путём конвективного воздействия на многокомпонентные смеси, предложено разработать систему автоматизированного управления процессом. Обоснованы назначение и структура системы. В основу функционирования устройства положен программный принцип выполнения алгоритма управления процессом, реализуемый микроконтроллером.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых научных журналах и изданиях, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук в Донецкой Народной Республике:

1. Павлыш, В.Н., Математическое моделирование процессов функционирования специализированных аппаратов конвективного типа В.Н.Павлыш, Е.В. Перинская // Проблемы искусственного интеллекта.- 2015.- № 0(1). – С.89-98.-(ВАК).

2. Перинская, Е.В. Математическое моделирование и автоматизация проектирования аппаратов, содержащих узлы конвективного типа // научный журнал «Информатика и Кибернетика», № 1(15). – Донецк, ДонНТУ, 2019. – С.21-27.

Публикации в рецензируемых научных журналах и изданиях, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук, рекомендуемых Министерством образования и науки Украины:

3. Павлыш, В.Н. Математическое моделирование машин, включающих узлы конвективного типа. / В.Н.Павлыш, Е.В. Перинская /// Прогрессивные технологии и системы машиностроения : междунар сб. науч. тр. Вып.21. -Донецк,: ДонГТУ, 2002.- С.178-184.

4. Павлыш, В.Н. Расчет параметров машин, содержащих конвективные узлы, с применением компьютеров / В.Н.Павлыш, Е.В. Перинская

// Прогрессивные технологии и системы машиностроения : междунар сб. науч. тр. Вып. 26. - Донецк : ДонНТУ, 2003. - С.10-14.

5. Павлыш, В.Н. Моделирование и расчет параметров машин, содержащих конвективные узлы и дополнительные конструкции / В.Н.Павлыш, Е.В. Перинская //Прогрессивные технологии и системы машиностроения : междунар. сб. науч. тр. Вып. 28 . - ДонНТУ, Донецк, 2004.- С. 224-230.

6. Павлыш, В.Н., Перинская Е.В. Математическое моделирование процессов производства неметаллических материалов с применением критериальных зависимостей / В.Н.Павлыш, Е.В. Перинская //Прогрессивные технологии и системы машиностроения : междунар. сб. науч. тр. Вып 32. - Донецк, 2006.- С.167-171.

7. Павлыш, В.Н. Задача автоматизации проектирования оборудования для получения сопутствующих материалов при обогащении полезных ископаемых / В.Н.Павлыш, Е.В. Перинская // Вісті Донецького гірничого інституту .- 2014.- №1(34)-№2(35).- С.399-405.

Монографии и публикации в других изданиях.

8. Математическое моделирование процессов обезвоживания обогащенного минерального сырья : монография / В.Н. Павлыш, Е.И. Назимко, И.В. Тарабаева и др. ; под общ. ред. В.Н. Павлыша, Е.И. Назимко ; ГВУЗ "ДонНТУ". - Донецк : ВИК, 2014. - 286с

9. Математическое моделирование процессов обогащения полезных ископаемых : монография / В.Н. Павлыш, Е.И. Назимко, А.Н. Корчевский и др. ; под общ. ред. В.Н. Павлыша, Е.И. Назимко ; ГВУЗ "ДонНТУ". - Донецк : ВИК, 2014. - 463с.

10. Pavlysh, V.N. The mathematical modeling and automatic control of pneumohydrodynamic treatment process on underground rock massifs / V.N. Pavlysh, L.A. Lazebnaya, Ismail Haser Dayeh, E.V. Perinskaya // Информатика и кибернетика .- 2015.- № 1. - С.104-109.

Публикации по материалам конференций:

11. Павлыш, В.Н. Применение математического моделирования к исследованию параметров динамических процессов / В.Н. Павлыш, Л.А. Лазебная, Е.В. Перинская // Современные проблемы техносферы и подготовки инженерных кадров : сб. тр. VII Междунар. науч.-метод. конф. в г. Сусс (Тунис), 08-17 окт. 2013г. - Донецк : ГВУЗ "ДонНТУ", 2013. - С.184-188.

12. Павлыш, В.Н., Аппроксимированная модель процесса получения материалов из сопутствующего сырья при обогащении полезных ископаемых / В.Н. Павлыш, Е.В. Перинская // Проблемы горного дела и экологии горного производства: материалы IX междунар. науч.-практ. конф. (24-25 апр. 2014 г., г. Антрацит). – Донецк: Донбасс, 2014. – С. 19 – 24.

13. Павлыш, В.Н., Математическое моделирование процесса конвективного перемешивания компонентов ферритового материала для электронной техники / В.Н.Павлыш, Е.В. Перинская // Машиностроение и техносфера XXI века : сб. тр. XXI междунар. науч.-техн. конф., 15-20 сент. 2014г., г. Севастополь. - Донецк : МСМ, 2014. - С.202-206.

14. Павлыш, В.Н. Постановка задачи математического моделирования процесса конвективной диффузии многокомпонентной смеси при производстве композитных материалов / В.Н.Павлыш, Е.В. Перинская // Современные проблемы техносферы и подготовки инженерных кадров [Электронный ресурс] : сб. тр. VIII Междунар. науч.-метод. конф. в г. Хаммамет с 28 сент. по 05 окт. 2014 г. - Донецк : ГВУЗ "ДонНТУ", 2014. - С.102-104.

15. Павлыш, В.Н. Редукция краевой задачи моделирования процесса получения сопутствующих материалов при обогащении полезных ископаемых к системе критериальных зависимостей / В.Н.Павлыш, Е.В. Перинская Машиностроение и техносфера XXI века : сб. тр. XXIII междунар. науч.-техн. конф. в г. Севастополе 12-18 сент. 2016 г. – Донецк, 2016. Т. 2. – С. 68-71.

16. Павлыш, В.Н., Разработка структуры системы автоматизированного проектирования специализированного оборудования конвективного типа / В.Н.Павлыш, Е.В. Перинская, Г.И. Турчанин //Современные проблемы техносферы и подготовки инженерных кадров : сб. тр. IX Междунар.науч.-метод. конф. в г. Сухум с 01 – 09 окт. 2016 г. – Донецк: МСМ, 2016. – С.188-191.

В публикациях, написанных в соавторстве, соискателю принадлежит: [1] – постановка задачи, одномерная модель; [3] – математические модели схем и конвективных узлов; [4] – обоснование алгоритмов и разработка программных средств; [5] – обоснование моделей, учитывающих влияние диффузоров; [6] – расчёт параметров критериальных зависимостей; [7] - обоснование и разработка структуры САПр; [8] – принципы разработки системы автоматизации проектирования; [9] – часть 1, раздел 5; [10] – принципы автоматизации управления процессом; [11] - обоснование математических моделей и вычислительных алгоритмов; [12] – численная аппроксимация детерминированной математической модели; [13] –

моделирование динамики конвективной диффузии; [14] – численная аппроксимация уравнений в частных производных; [15] – обоснование принципов редукции краевой задачи; [16] – обоснование направления модификации системы.

АННОТАЦИЯ

Перинская Е.В. Математическое моделирование и обоснование параметров аппаратов, осуществляющих процесс перемешивания неоднородных материалов. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки)» – ГОУВПО «ДОННТУ», Донецк, 2019 г.

В диссертации решена актуальная научно-техническая задача, заключающаяся в развитии и совершенствовании математических моделей, вычислительных алгоритмов и программных средств для исследования процессов и обоснования параметров технологических систем, содержащих узлы конвективного типа, что обеспечивает повышение эффективности и качества производства композитных промышленных материалов, получаемых за счёт перемешивания многокомпонентных смесей.

Разработаны математические модели основных типов: модель идеального перемешивания, одномерная модель, осесимметрическая и плоская модели перемешивания в химическом реакторе.

Выполнена численная реализация краевых задач, составляющих математические модели, и разработаны алгоритмы для компьютерного моделирования процессов.

Разработаны компьютерные программы для реализации математических моделей всех типов и проведены исследования параметров процессов, определяющих направления совершенствования аппаратов.

Проведены численные эксперименты, результаты которых позволили сформировать рекомендации по совершенствованию конструкций аппарата для улучшения гидродинамических параметров.

Разработана функционально-логическая схема системы автоматизированного проектирования технологии процесса, обоснован алгоритм функционирования головной программы системы.

Ключевые слова: процесс, конвекция, параметр, математическая модель, алгоритм, структура.

ABSTRACT

Perinskaja E.V. The mathematical modeling and justification settings for devices in the process of mixing heterogeneous materials. - Manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of candidate of technical sciences on specialty 05.13.18 — The mathematical modeling, numerical methods and complexes of the programs (engineering science) - «DONETSK NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY», Donetsk, 2019.

In the dissertation solved up-to-date scientific and technical challenge of development and improvement of mathematical models, numerical algorithms and

software tools for research and validation processes parameters of technological systems containing nodes convective type that provides improved efficiency and quality of industrial production of composite materials, obtained due to mixing of multi-component mixtures.

Mathematical model of main types are represented: model of ideal mixing, one-dimensional model, axie-simmetrical and flat mixing model in chemical reactor.

Performed numerical realization of boundary problems constituting the mathematical models and algorithms for computer simulations.

Computer programs have been developed to implement mathematical models of all types and studies on process parameters, defining areas for improvement.

Numerical experiments have been conducted, the results of which made it possible to generate recommendations on improving designs to improve hydrodynamic parameters.

Developed functional systems of the automated designing logic process technology, justified the algorithm functioning head system.

Key words: process, convection, parameter, mathematical model, algorithm, structure.