Федеральное агентство по образованию
Министерство образования и науки
Российской Федерации
Тамбовский государственный технический университет

СБОРНИК АВТОРЕФЕРАТОВ МАГИСТРОВ ТГТУ

Выпуск 7

Тамбов
2006

УДК 04
ББК Я43
С 23

Издание «Сборника статей магистрантов» одобрено ученым советом ТГТУ, протокол № 3 от 27 марта 2006 года

Ответственный за выпуск –
к.х.н., доц., зав. отделом магистратуры и бакалавриата
Корчагина О. А.

Сборник авторефератов магистров ТГТУ. Выпуск VII. – Тамбов: ТОГУП «Тамбовполиграфиздат», 2006. – 220 с.

ISBN 5-94359-033-1

В сборник включены лучшие авторефераты по магистерским программам выпуска 2006 года Тамбовского государственного технического университета.

Предназначен для преподавателей, аспирантов и студентов с целью использования в научной работе и учебной деятельности.

УДК 04
ББК Я43

ISBN 5-94359-033-1

© Тамбовский государственный технический университет, 2006

На правах рукописи

Антонов Сергей Вячеславович

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ АРМИРОВАННОГО ПЕСЧАННОГО ОСНОВАНИЯ

Направление 270100. Строительство
Магистерская программа 270100.01 –
Теория и проектирование зданий и сооружений

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
магистра техники и технологии

Тамбов 2006

Работа выполнена на кафедре «Конструкции зданий и сооружений» Тамбовского государственного технического университета

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ: кандидат технических наук, доцент

Антонов Василий Михайлович

РЕЦЕНЗЕНТ: кандидат технических наук, ведущий инженер ОГМ ОАО «Пигмент

Варечкин Сергей Александрович

ВЕДУЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ:

Защита диссертации состоится 27 июня 2006 г. на заседании Государственной аттестационной комиссии Тамбовского государственного технического университета по адресу: ул. Мичуринская 112 Д

С диссертацией можно ознакомится на кафедре «КЗиС» ТГТУ.

Технический секретарь ГАК О.В. Умнова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В последние годы строительной практики все чаще приходится использовать площадки, считавшимися непригодными или неудобными для целей строительства. . Это и пойменные, затапливаемые паводками территории и территории с резкими перепадами высот, наличием оврагов, выработанных карьеров, территории сложенные слабыми грунтами т. д.

Использование этих участков без специальной инженерной подготовки невозможно. В качестве инженерной подготовки используются различные мероприятия: это и намыв территорий до незатопляемых отметок и подсыпка привозным грунтом либо с целью вертикальной планировки площадки, либо с целью создания грунтовой подушки, пригружающей слабые грунты.

Традиционным видом фундирования в этих случаях является вариант свайных фундаментов с прорезкой слоя намывных или насыпных и слабых подстилающих грунтов.

Однако, как указывалось выше, с целью снижения материалоемкости и стоимости фундаментов возможны мероприятия, позволяющие повысить распределительную способность основания и, тем самым, снизить давление на кровлю слабых подстилающих грунтов. В этом аспекте заслуживает внимания метод армирования грунтов, получивший в последние годы широкое распространение за рубежом в дорожном строительстве и при возведении опорных сооружений.

Особенно перспективным этот метод становится в условиях послойного создания искусственного основания.

Учитывая сказанное, а также отсутствие нормативных документов, регламентирующих проектирование и устройство фундаментов армированным основании, вопросы комплексного исследования строительных свойств армированных грунтов становятся весьма актуальными и данная работа выполнялась в рамках этой проблемы.

Целью работы:

- Оценить влияние армирования на несущую способность и деформативность основания при центральном и внецентренном нагружении ленточного фундамента
- Изучить характер распределения напряжений в основании и в армирующем элементе

Достоверность полученных экспериментальных результатов обеспечивается проведением экспериментов с необходимым количеством повторных испытаний; статистической обработкой экспериментальных данных; применением метода математического планирования эксперимента; сопоставлением результатов исследований с аналогичными данными других авторов.

Научная новизна работы:

- установлены зависимости, оценивающие влияние глубины заложения армирующих элементов, их геометрических размеров.

Публикации. По результатам исследований опубликовано 4 статьи.

Автор защищает:

– результаты исследований влияния эксцентриситета приложения нагрузки и расположение арматуры на деформативность и несущую способность армированного основания;

– результаты исследований по влиянию армирования на развитие вертикальных и горизонтальных напряжений в грунте;

– результаты исследований по влиянию глубины заложения армирующего элемента на распределение напряжений в арматуре при центральном и внецентренном нагружении;

Структура и объём работы. Диссертационная работа состоит из введения, двух глав, основных выводов и содержит 93 страницы машинописного текста, включая 16 таблиц, 46 рисунков, список литературы из 24 наименований и 1 приложение.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проблемы, сформулированы цели исследований и основные положения, которые выносятся на защиту.

В первой главе, которая является обзорной, дан анализ экспериментальных и теоретических работ российских и зарубежных авторов по теме диссертации, описана история развития и область применения армогрунта, указаны различные способы армирования основания (вертикальное, горизонтальное), виды арматуры (стержни, сетки, волокна, геоячейки), требования, предъявляемые к арматуре, защитному покрытию, грунту засыпки в США, Франции, Индии, Англии.

Развитию основ, исследованию и внедрению в инженерную практику метода армирования грунта способствовали работы ученых: Г. Видаля (Vidal Henry.), Д. Миловича, М. Бакстера, Ю.В. Феофилова, К. Джоунса(C. Gones), В.А. Барвашова, проводивших опыты с горизонтальным армированием песчаного основания различными материалами: полосовым стеклопластиком, тканью, металлическими стержнями. Значительное количество опытов в условиях плоской деформации провели Ч.Х. Хуанг и Ф.Татсуока с изменением плотности, количества слоев армирующих элементов, расстояния до арматуры, длины стержней. А. Л. Аксенови и Д.Ю. Штикель, И. Алими (Alimi Y), исследовали взаимодействие полосовой арматуры с грунтом засыпки. Опыты на трехосное сжатие армированного песчаного основания выполняли С.

Саран и Д. Нараин. В.В. Жихович, Л.М. Тимофеева проводили исследования по дисперсному армированию глинистых грунтов.

Большинство теоретических разработок, касающихся армированного грунта, выполнялась в аспекте проектирования и возведения подпорных сооружений и дорожного строительства. Самые ранние разработки, касающиеся усиления грунтовых оснований армированием, выполняли Койн, Вестерград, Р. Бассет, Н. Гаусманн, Ф. Шлоссер, Н. Лонг. Распределению напряжений по арматуре посвящены работы Чанга, Бишопа и Андерсона, вопрос прочности армированного грунта рассмотрен в работе Смита и Р. Джоуелла.

Значительный вклад в развитие теории армогрунтовых сооружений внесла Л. М. Тимофеева. Она предложила три основные расчетные схемы армогрунтовых конструкций: континуальную, дискретную и дискретно-континуальную; рассмотрела вопросы изменения реологических свойств в армированных грунтах, напряженное состояние армированного основания.

Анализ проведенного обзора армированных грунтов показал, что исследований, касающихся армирования основания фундаментов, выполнено мало, эксперименты проводились на маломасштабных моделях; комплексного изучения влияния различных параметров на повышение несущей способности и модуля деформации армированного основания не проводили.

Проведенный анализ позволил сформулировать цель и задачи диссертационной работы.

Во второй главе описаны методические вопросы и проведен анализ испытаний. В качестве основания использовался однородный мелкий песок. Влажность грунта основания находилась в пределах от 9 до 10%.

Эксперименты с моделью ленточного фундамента проводились в металлическом лотке–установке размерами 1,9×1,7×1,3(h) м, заполненным песком. Нагрузку создавали с помощью гидравлического домкрата.

Размеры модели ленточного фундамента, с соотношением 1:10, составляли: ширина B=100 мм, длина L=1000мм; контактная поверхность модели - гладкая.

Эффективность армирования оценивается исходя из следующих параметров:

-относительная несущая способность $\overline{F_{su}}$

-относительная осадка $\overline{S_{su}}$

-относительный крен $\overline{i_{su}}$

Размер арматурных сеток был следующий: №1 - 200х1000, №2 – 300х1000, №3 – 400х1000, №4 – 500х1000 с ячейкой 20х20 мм и от-

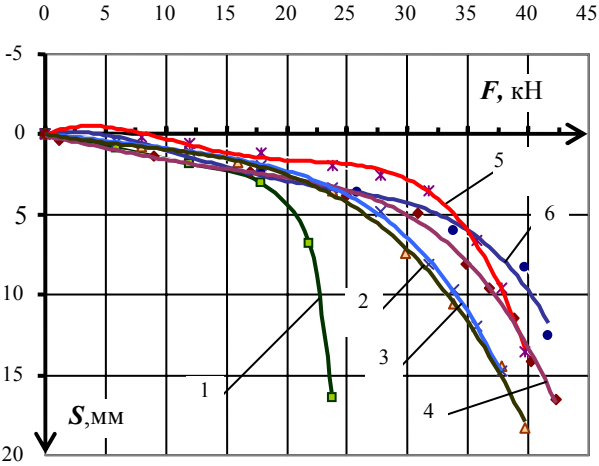
дельные стержни длиной 400 мм. Диаметр стержней d=2мм. Сетка №5 300х1000 с ячейкой 40х40 мм и d=5мм.

Перед исследованием армированного основания провели серию опытов по определению несущей способности и деформативности неармированного основания.

В экспериментах изменяли: относительный эксцентриситет приложения нагрузки $\overline{e}_0 = e_0/B = 0$; 0,25 ($e_0$ - эксцентриситет приложения силы, В - ширина модели, штампа), относительное заглубление арматурной сетки $\overline{h_s} = h_s/D$ 0,3; 0,6 (h_s - глубина заложения сетки от подошвы фундамента).

Влияние армирования на осадку модели ленточного фундамента

Эксперименты проводились с изменением ширины армирующих элементов – металлических сеток, а также отдельных металлических стержней длиной L_s=400мм. В ходе испытаний, на каждой ступени нагружения фиксировали значение осадки модели ленточного фундамента.



Примечание: F-нагрузка, кН; S-средняя осадка фундамента; 1 - неармированный грунт; 2- сетка № 1; 3- сетка № 2; 4- сетка № 3; 5- отдельные стержни B_s =400мм; 6- сетка № 4

Рис. 1. Зависимость осадки фундамента от нагрузки

Для определения оптимальной ячейки и диаметра стержней проведены опыты с сеткой №5(с ячейкой 40х40 мм и d=5мм) и сеткой №2 (с ячейкой 20х20 мм и d=2мм)

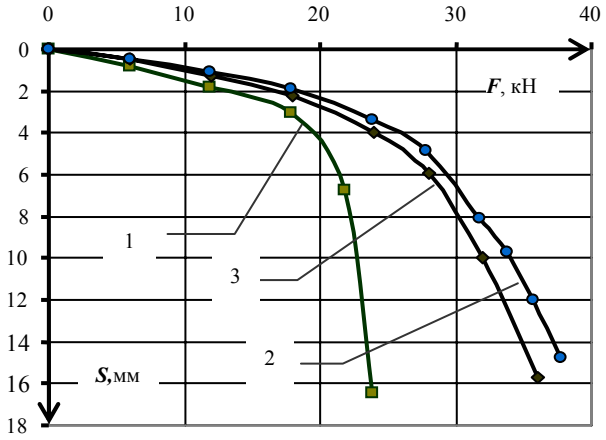


Рис. 2. Зависимость осадки фундамента при разных схемах армирования 1 – неармированное основание; 2 – армированное основание сеткой № 2; 3 – армированное основание сеткой № 5

Влияние армирования на развитие крена модели при внецентренном нагружении

Армирование осуществляли следующими схемами:

- схема 1.1 сетка №2, h_s = 3 см;
- схема 1.2 сетка №2, h_s = 6 см;
- схема 2.1 сетка №5, h_s = 3 см;
- схема 2.2 сетка №5, h_s = 6 см;

Нагрузка прикладывалась с относительным эксцентриситетом $\overline{e}_0$ = 0,25

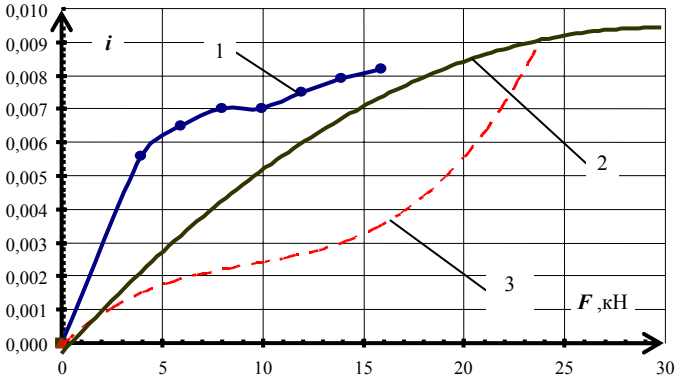


Рис. 3. Развитие крена модели фундамента при армировании сеткой №2
1 – неармированное основание; 2 – армированное основание при hs=3см;
3 – армированное основание при hs=6см

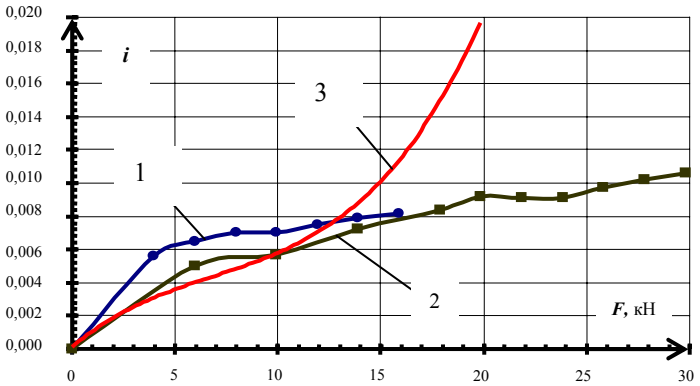


Рис. 4. Развитие крена модели фундамента при армировании сеткой № 5
1 – неармированное основание; 2 – армированное основание при hs=3см;
3 – армированное основание при hs=6см

Влияние армирования на развитие бокового давления по глубине

Боковое давление измерялось на опытной установке путем снятия показаний с динамометров. Давления на динамометр передавалось от площадки, находящейся в грунте и соединенной с ним штоком. Размеры площадки составляли 100х100 мм.

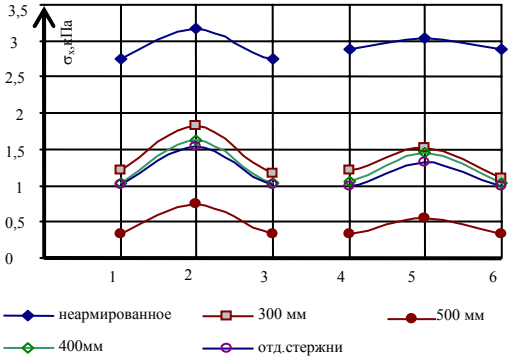


Рис. 5. Распределение значений напряжений по глубине при разных размерах, видах арматуры и P=200кПа, где 1 – 6 – номера датчиков бокового давления

Влияние армирования на распределение напряжений в основании

Эксперименты проводись при $\overline{e}_0$ = 0; 0,25 на неармированном и армированном сеткой №2 основании. Армирование выполняли по двум схемам на глубину h_s = 3 см (схема 1.1) и h_s = 6 см (схема 1.2) от подошвы модели. Внецентренная нагрузка передавалась при постановке шарнира над домкратом и под ним – (шарнир вверху), (шарнир внизу). Для изучения распределения напряжений была принята фиксированная нагрузка F = 20 кН. В работе использовались глубинные датчики измерения напряжений в грунте.

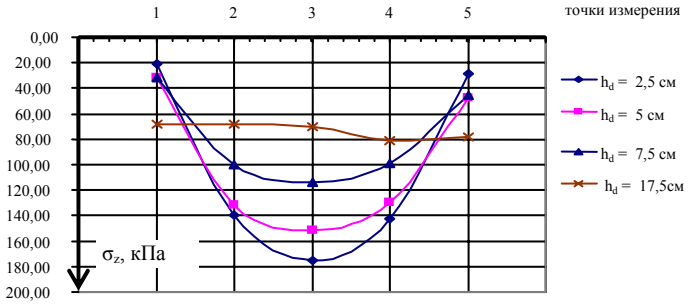


Рис. 6. Распределение вертикальных напряжений по глубине при $\overline{e}$ = 0 и F = 20 кН неармированного основания

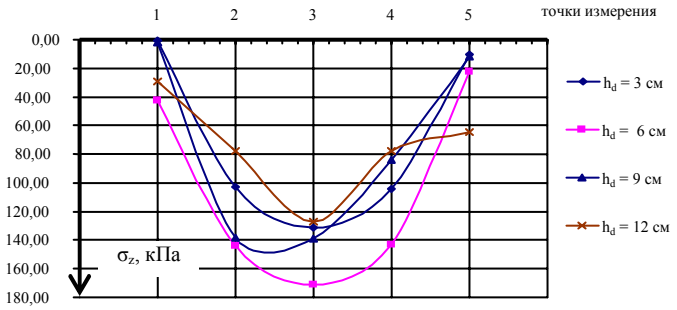


Рис. 7. Распределение вертикальных напряжений по глубине при $\bar{e}$ = 0 , h_s = 3см армированного основания при F = 20 кН

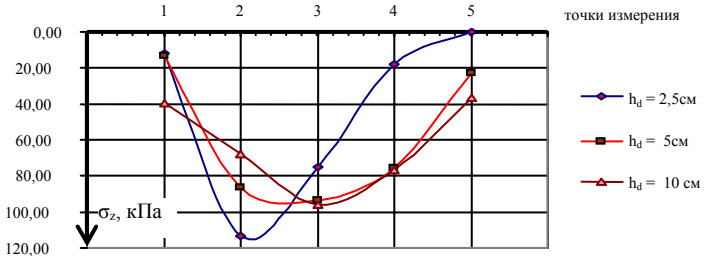


Рис. 8. Распределение вертикальных напряжений по глубине при $\bar{e}$ = 0,25, F = 16 кН неармированного основания (шарнир внизу)

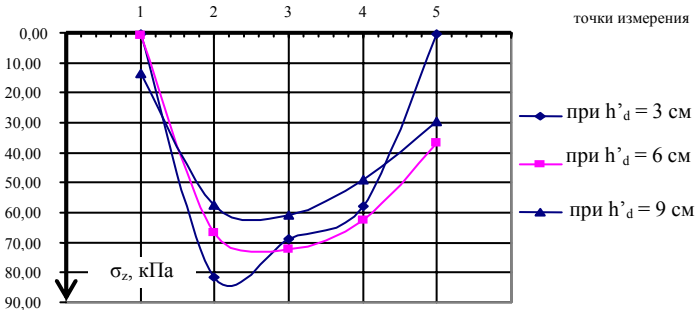


Рис. 9. Распределение вертикальных напряжений по глубине при $\bar{e}$ = 0,25, h_s = 3см и F = 16 кН армированного основания (шарнир внизу)

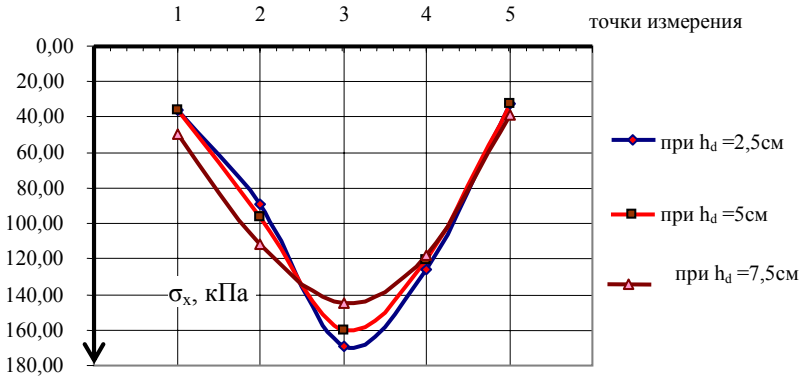


Рис. 10. Распределение вертикальных напряжений по глубине при $\bar{e} = 0.25$ **, при** $F = 22$ **кН для неармированного основания (шарнир вверху)**

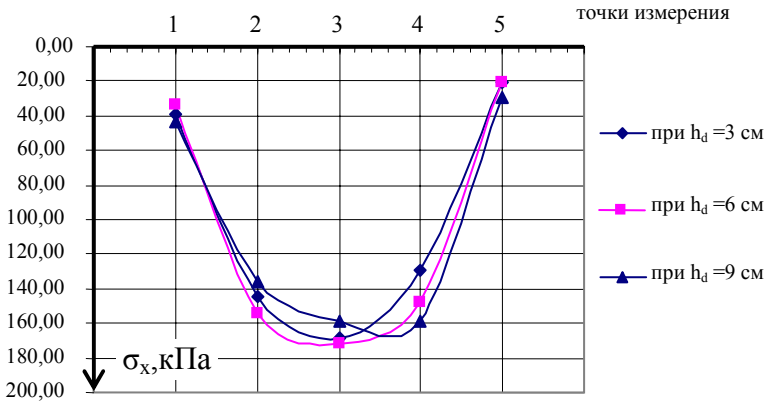


Рис. 11. Распределение вертикальных напряжений по глубине при $\bar{e} = 0.25$**,** h_d**=3см и** $F = 28$ **кН армированного основания (шарнир вверху)**

Влияние армирования на развитие горизонтальных напряжений

Эксперименты проводись на неармированном и армированном основании. Нагрузка прикладывалась центрально и внецентренно с относительным эксцентриситетом соответственно $\bar{e}_0 = 0$ и $\bar{e}_0 = 0{,}25$ при постановке шарнира внизу и вверху.

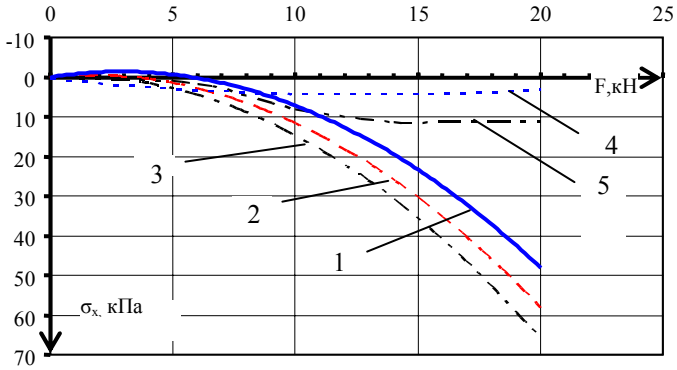


Рис. 12. Развитие горизонтальных напряжений неармированного основания при $\overline{e}_0$ = 0, где1-при h_d =2,5см; 2-при h_d =5см; 3-при h_d =7,5см; 4-при h_d =17,5см; 5-при h_d =12,5см

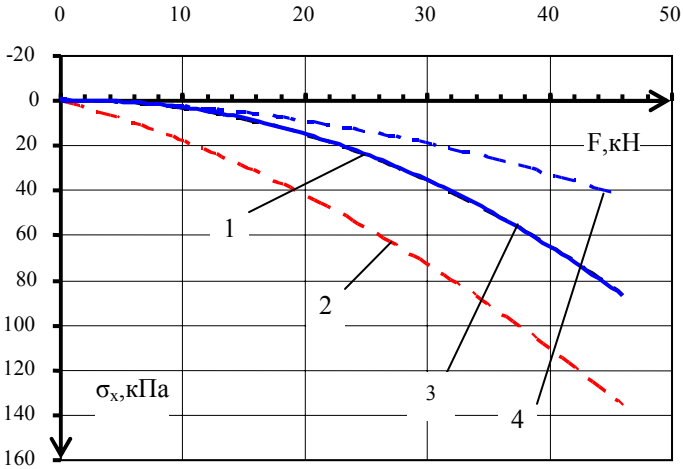


Рис. 13. Развитие горизонтальных напряжений армированного основания при $\overline{e}_0$ = 0, h_s = 3см

1 – при h'_d = 3см; 2 – при h'_d = 6см; 3 – при h'_d = 9см; 4 – при h'_d = 12см

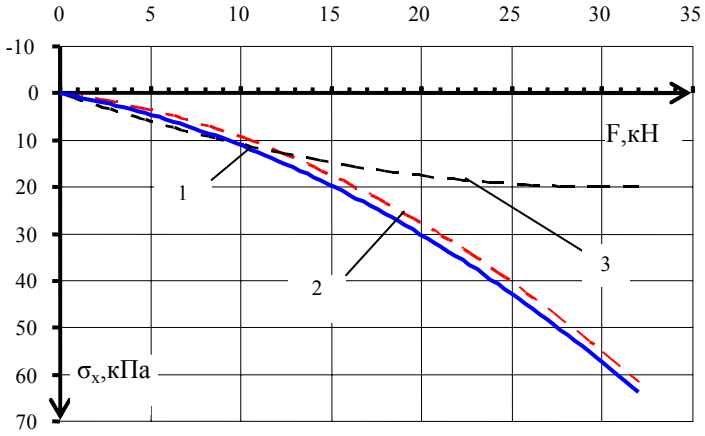


Рис. 14. Развитие горизонтальных напряжений армированного основания при $\overline{e}_0$ = 0, h_s = 6см 1 – при h_d = 3см; 2 – при h'_d = 3см; 3 – при h'_d = 6см

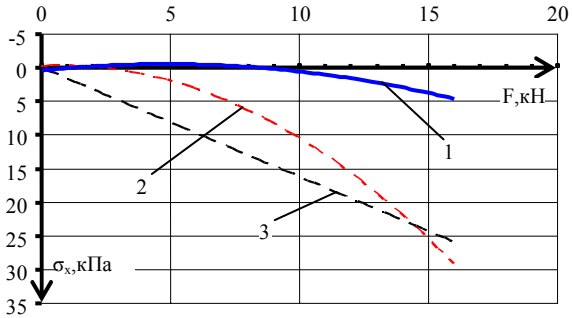


Рис. 15. Развитие горизонтальных напряжений неармированного основания при $\overline{e}_0$ = 0,25 (шарнир внизу)

1 – при h_d = 2,5см; 2 – при h_d = 5см; 3 – при h_d = 7,5см

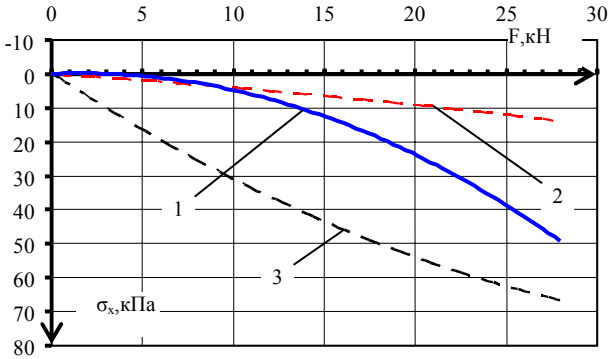


Рис. 16. Развитие горизонтальных напряжений армированного основания при $\overline{e}_0$ = 0,25, h_s = 3см (шарнир внизу)

1 – при h'_d = 3см; 2 – при h'_d = 6см; 3 – при h'_d = 9см

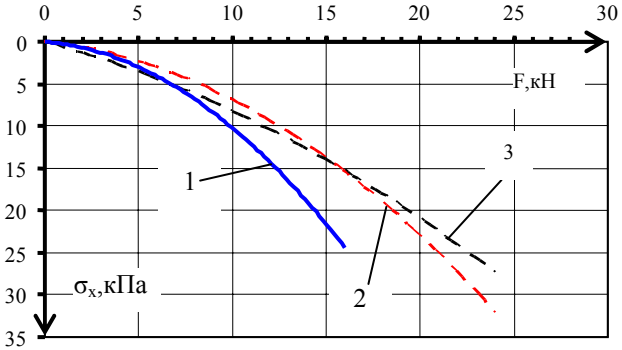


Рис. 17. Развитие горизонтальных напряжений армированного основания при $\overline{e}_0$ = 0,25, h_s = 6см (шарнир внизу), где1 – при h_d = 3см; 2 – при h'_d = 3см; 3 – при h'_d = 6см

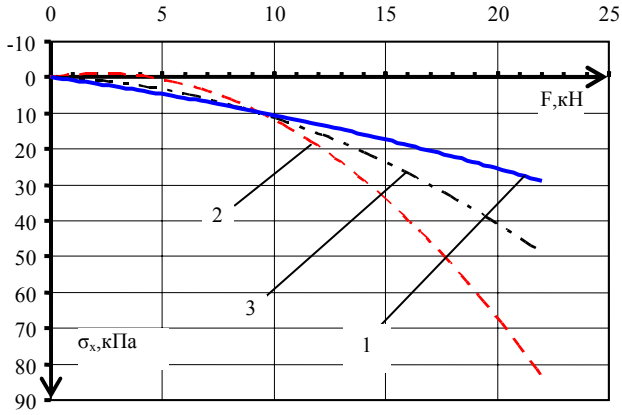


Рис. 18. Развитие горизонтальных напряжений неармированного основания при $\overline{e}_0$ = 0,25, (шарнир вверху), где1 – при h_d = 2,5см; 2 – при h_d = 5см; 3 – при h_d = 7,5см

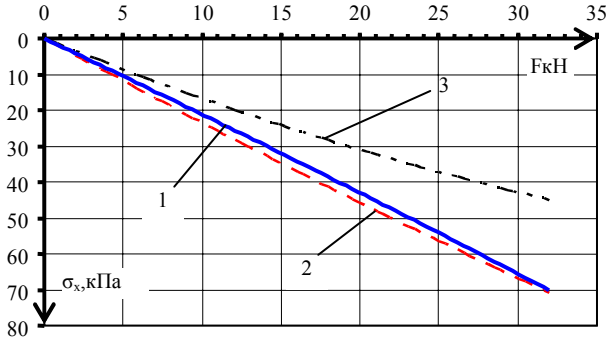


Рис. 19. Развитие горизонтальных напряжений армированного основания при $\overline{e}_0$ = 0,25, h_s = 3см (шарнир вверху), где 1 – при h_d = 3см; 2 – при h_d = 6см; 3 – при h_d = 9см

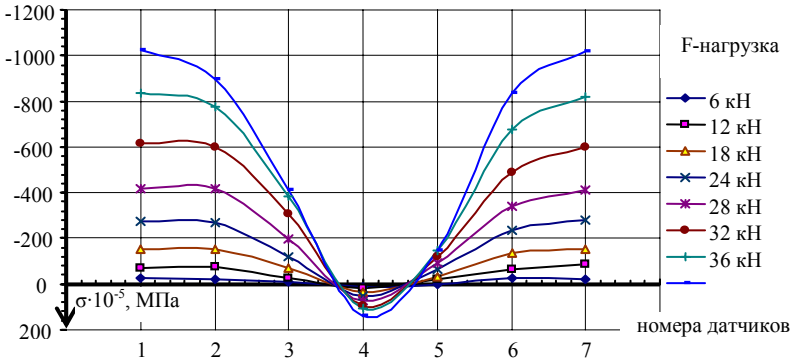
Исследование напряжений в армирующем элементе

Испытания проводились при центральном и внецентренном нагружении на армированном основании по схемам:

схема 2.1 сетка №5, h_s = 3 см; схема 2.2 сетка №5, h_s = 6 см;

Для определения усилий в сетке на стержни наклеивались тензорезисторы и подключались к АИД-4 – где фиксировались значения.

а)



б)

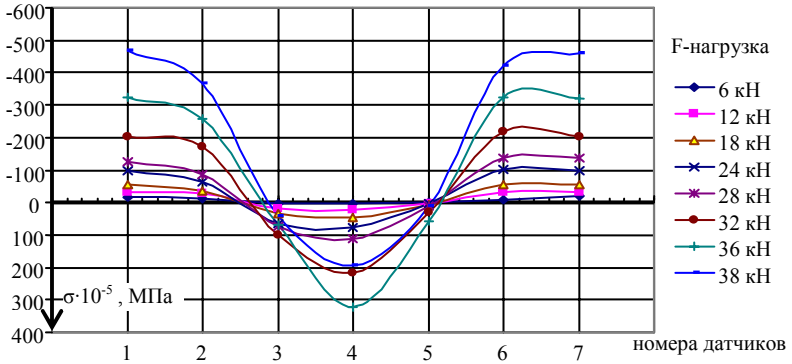
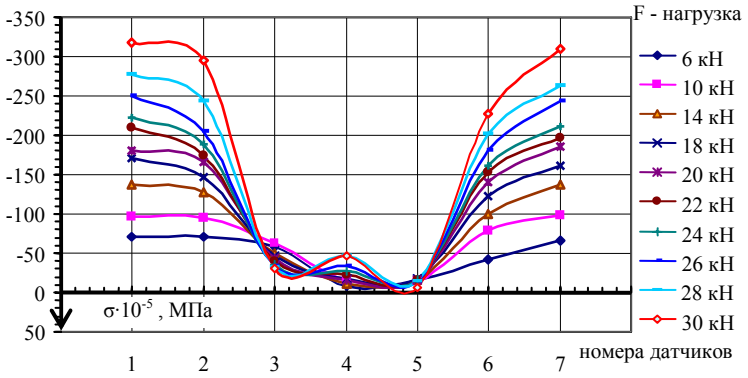


Рис. 20. Развитие напряжений в армирующем элементе при центральном нагружении $\bar{e}$ = 0 где а) при h_s = 3см; б) при h_s = 6см

а)



б)

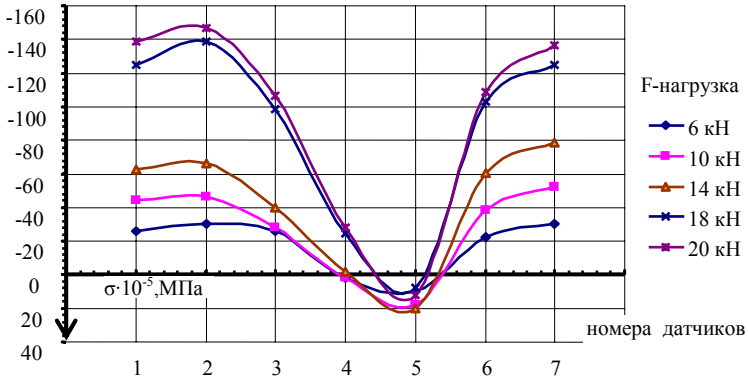


Рис. 20. Развитие напряжений в армирующем элементе при внецентренном нагружении $\bar{e}$ = 0,25 где а) при h_s = 3см; б) при h_s = 6см

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Введение в грунт армирующего элемента в виде металлических сеток повышает несущую способность основания в среднем на 40% - при центральном загружении и на 88% - при внецентренном.

2. Уменьшение глубины армирования до h_s = 3 см ведет к выравниванию крена модели и не позволяет образовываться области пластических деформаций над арматурой.

3. Увеличение глубины заложения армирующего элемента ведет к снижению горизонтальных напряжений ниже сетки, при hs > 3 см на-

чинает проявляться боковое давление между арматурой и подошвой модели.

4. Армогрунт способствует выравниванию вертикальных напряжений под подошвой, снижению краевых значений и повышению средних. Так при $\bar{e}$ =0,25 максимальное значение σ_z., на глубине до 6 см от сетки находится под краем штампа. С увеличением глубины происходит смещение экстремума к центру модели фундамента.

5. При центральном загружении поперечные стержни, на краях сетки, испытывают: усилие сжатия, а ближе к центру, где приложена нагрузка, растяжение. Увеличение глубины заложения армирующего элемента в 2 раза приводит к уменьшению сжимающих и повышению растягивающих усилий в сетке более чем 2,5 раза.

6. При внецентренном нагружении (h_s = 3 см) поперечные стержни сетки сжаты, а под краями модели идет снижение сжимающих усилий. При h_s = 6 см у поперечных стержней появляется участок с растягивающим усилием под краем модели фундамента, в сторону действия эксцентриситета.

7. При постановке шарнира сверху расчетная схема близка к наклонному внецентренному нагружению.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах

1. *Антонов В.М., Антонов С.В.* Исследование напряженно - деформированного состояния армированного песчаного основания // Сборник статей магистрантов по материалам научной конференции. Выпуск I.-Тамбов:ТОГУП «Тамбовполиграфиздат», 2005. С 99-102

2. *Антонов В.М., Антонов С.В.* Исследование напряженно - деформированного состояния армированного песчаного основания ленточного фундамента // Современные проблемы науки глазами будущих учёных. Сборник статей магистрантов. Выпуск III.-Тамбов:ТОГУП «Тамбовполиграфиздат», 2005. С 69-73

3. *Антонов В.М., Антонов С.В., Диавара Сонда* Исследование напряженно - деформированного состояния песчаного основания // Новые идеи молодых учёных в науке XXI века. Интернет-форум магистрантов ВУЗов России. Сборник статей магистрантов. Выпуск IV.-Тамбов: ТОГУП «Тамбовполиграфиздат», 2006. С 168-172

4. *Антонов В.М., Антонов С.В.* Исследование напряженно - деформированного состояния армированного песчаного основания . Сборник статей,студентов, бакалавров и магистрантов. Выпуск VI.-Тамбов: ТОГУП «Тамбовполиграфиздат», 2006. С 85-88

На правах рукописи

Рындин Вячеслав Олегович

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАРЕНИЯ ДРЕВЕСНЫХ КОМПОЗИТОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ

Направление 270100. Строительство
Магистерская программа 270100.07 –
Архитектурно-строительное материаловедение

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
магистра техники и технологии

Тамбов 2006

Работа выполнена на кафедре «Конструкции зданий и сооружений» Тамбовского государственного технического университета

Научный руководитель: к.т.н., ст.преп.
Киселева Олеся Анатольевна

Рецензент: кандидат технических наук,
Андрианов К.А.

Защита диссертации состоится 27 июня 2006 г. В 9.00. на заседании Государственной аттестационной комиссии Тамбовского государственного технического университета по адресу :

С диссертацией можно ознакомится на кафедре «КЗиС» ТГТУ.

Технический секретарь ГАК О.В. Умнова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Древесные композиты получили широкое применение в строительных изделиях, ограждающих и несущих конструкциях. Одним из преимуществ данных материалов является существенная экономия деловой древесины. Кроме того, древесностружечные (ДСП) , древесноволокнистые плиты (ДВП) и фанера обладают хорошими тепло- и звукоизоляционными свойствами, а также высокими механическими характеристиками.

В древесных композитах наблюдается высокая неоднородность распределения компонентов по объёму. Такое строение осложняет изучение их механических характеристик.

В процессе эксплуатации и хранения древесные композиты подвергаются воздействию различных внешних факторов (повышенной температуры, солнечных лучей и воды), сказывающихся на их физико-механических характеристиках. В связи с этим для точного прогнозирования их работоспособности возникла необходимость в изучении старения. Ранее этот вопрос рассматривался лишь с позиции кратковременной прочности.

Актуальность данной работы заключается в изучении влияния старения (термо- и фото) на долговечность древесных композитов. Для разработки методики прогнозирования длительной прочности и долговечности древесных композитов необходимо использовать термофлуктуационную концепцию разрушения и деформирования, развитие которой обязано в первую очередь фундаментальным работам школы С.Н. Журкова. Она рассматривает тепловое движение атомов как решающий фактор процесса механического разрушения, а роль нагрузки заключается в уменьшении энергии связей. Действие старения учитывается поправочными коэффициентами.

Целью данной работы является выявление влияния температурно-влажностных воздействий, термостарения и ультрафиолетового облучения на структуру и свойства древесных композитов.

Из цели вытекают следующие задачи:

1. Изучение влияния температурно-влажностных воздействий на физические свойства древесных композитов.
2. Изучение влияния циклов многократного замораживания – оттаивания на долговечность древесноволокнистых плит и фанеры.
3. Изучение влияния термостарения и фотостарения на структуру древесных композитов.
4. Изучение влияния термо- и фотостарения на кратковременную и длительную прочность древесных композитов.

Достоверность полученных экспериментальных результатов обеспечивается проведением экспериментов с достаточной воспроизводимостью; статистической обработкой с заданной вероятностью и необходимым количеством повторных испытаний; сопоставлением результатов полученных разными методами, а так же сравнение их с аналогичными результатами, полученными другими авторами.

Практические значения работы. Получены данные, позволяющие при прогнозировании работоспособности учитывать действие старения.

Научная новизна работы состоит в следующем:

- исследовано влияние температурно-влажностных воздействий на физические свойства древесных композитов;
- исследовано влияние циклов многократного замораживания – оттаивания на долговечность древесноволокнистых плит и фанеры.;
- исследовано влияния термостарения и фотостарения на структуру древесных композитов .
- исследовано влияние термостарения и фотостарения на долговечность и прочность древесных композитов .
- исследованы закономерности разрушения ДСП после воздействия термостарения.

На защиту выносятся:

1. результаты исследований по влиянию температурно-влажностных воздействий на физические свойства древесных композитов;
2. результаты исследований по влиянию термостарения и фотостарения на изменение структуры древесных композитов .
3. результаты исследований по влиянию термостарения и фотостарения на долговечность и прочность древесных композитов.
4. поправки, учитывающие действие циклов многократного замораживания – оттаивания, термостарения и фотостарения на работоспособность древесных композитов.

Апробация работы. Основные положения работы докладывались на международной научно-технической конференции “Композиционные строительные материалы. Теория и практика” (Пенза, 2004 г.), научной конференции (Тамбов: ТОГУП «Тамбовполиграфиздат», 2005 г.), научной конференции “ Современные проблемы науки глазами будущих ученых” (Тамбов: ТОГУП «Тамбовполиграфиздат», 2005 г.), международной научно- технической конференции “Актуальные проблемы строительства и строительной индустрии” (Тула, 2005 г.).

Публикации. По результатам исследований опубликовано 4 статьи.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, трёх глав, общих выводов, списка литературы 34 наименования. Работа изложена на 99 страницах, включает 27 таблиц и 54 рисунка.

Работа выполнена на кафедре «Конструкции зданий и сооружений» Тамбовского государственного технического университета.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обусловлена актуальность проблемы, сформулированы цели исследований и основные положения, которые выносятся на защиту.

В первой главе приведён анализ литературных данных.

В настоящее время в строительстве нашли широкое применение древесные композиты. Они применяются для внутренней отделки помещений, устройства полов, а также в качестве элементов несущих и ограждающих конструкции (щитовые двери, панели покрытия, стеновые панели, балки покрытия, опалубка, стойки и т.д.).

Изучением физико-механических свойств фанеры и древесных пластиков занимались такие учёные, как Бекетов В.Д., Мерсов Е.Д., Корчаго И.Г., Ребрин С.Л., Отлев И.А., Шварцман Г.М., Хрулёв В.М., Разиньков Е.М., Мартынов К.Я., Поздняков А.А и другие.

При изучении прочностных характеристик фанеры и древесных пластиков получены предельные значения прочности при различных видах нагружения (поперечный изгиб, сжатие, растяжение, пенетрация и т.д.). Показано, что данные материалы отличаются большой анизотропией механических свойств.

В процессе изготовления и эксплуатации фанера и древесные пластики находятся под воздействием длительных нагрузок, которые приводят к их деформированию и разрушению. При этом на фанеру и древесные пластики действуют и другие факторы (температурно – влажностные, агрессивные среды, атмосферные воздействия, солнечная радиация и т.д.), приводящие к изменению их структуры и физико-механических свойств.

Гусейновым Э.М. приводятся данные по влиянию климатических факторов и старения на предел прочности при статическом изгибе. Хрулёв В.М. и Мартыновым К.Я. занимались изучением температуры воды и продолжительности ее действия на прочность древесных композитов. Однако для прогнозирования работоспособности наибольший интерес представляет изучение длительной прочности и долговечности ДСП, ДВП и фанеры, а также влияние старения на их величины.

Во второй главе описаны приборы и установки для проведения испытаний. Изложена методика проведения испытаний и обработки экспериментальных данных.

В третьей главе было изучено влияние старения на структуру и физико-механические свойства древесных композитов.

Под воздействием УФ- облучения и термостарения может наблюдаться изменение структуры материала, выявить которые можно прямыми физическими методами. Одним из таких методов является дилатометрия, позволяющая по изменению формы кривых судить об изменении структуры и фазовых переходах.

Исследования древесных композитов после действия термо- и фотостарения проводили в линейном дилатометре при скорости нагрева 1,65 ^{0}С/мин. Полученные результаты на примере ДСП после УФ-облучения представлены на рисунке 1.

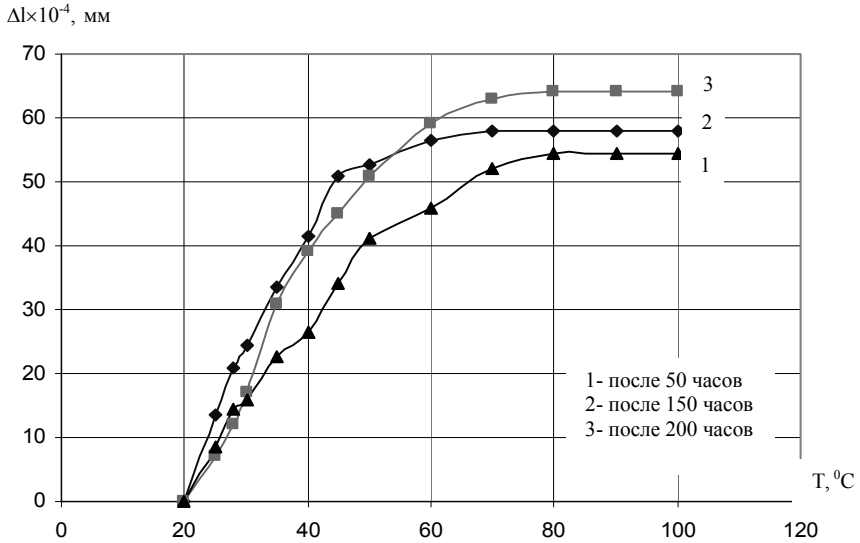


Рис. 1. Дилатометрические кривые при скорости нагрева 1,65 ^{0}С/мин для древесностружечных плит после УФ - облучения

Из рисунка 1 видно, что после УФ- облучения древесностружечных плит вид дилатометрических кривых не изменяется, т.е. в них не происходит изменение структуры. Однако удлинение образцов уменьшается. Аналогично ведут себя ДВП и фанера. После воздействия термостарения древесные композиты ведут себя аналогично.

По полученным кривым определены коэффициенты линейного термического расширения, которые приведены в таблице 1.

Таблица 1

Влияние тепло- и фотостарения на коэффициент линейного термического расширения древесных композитов

Материал	Коэффициент линейного термического расширения $\alpha \times 10^{-6}$, $1/^0C$						
	после термообработки при 80 ^0C				после УФ- облучения		
	0	40	120	200	50	150	200
ДСП	3,47	2,45	2,25	0,972	3,05	2,89	2,76
ДВП	3,14	2,2	3,38	2,65	2,76	2,99	2,66
Фанера	1,483	3,49	3,66	2,26	1,66	1,58	1,95

Из таблицы 1 видно, что величина коэффициента линейного термического расширения зависит от УФ- облучения и термостарения древесных композитов. С увеличением длительности прогрева для древесностружечных плит наблюдается уменьшение α, что, по-видимому, связано с доотверждением связующего. Для древесноволокнистых плит α изменяется незначительно, а для фанеры – его увеличение вызванно слоистым строением материала. После УФ- облучения коэффициент линейного термического расширения для древесных

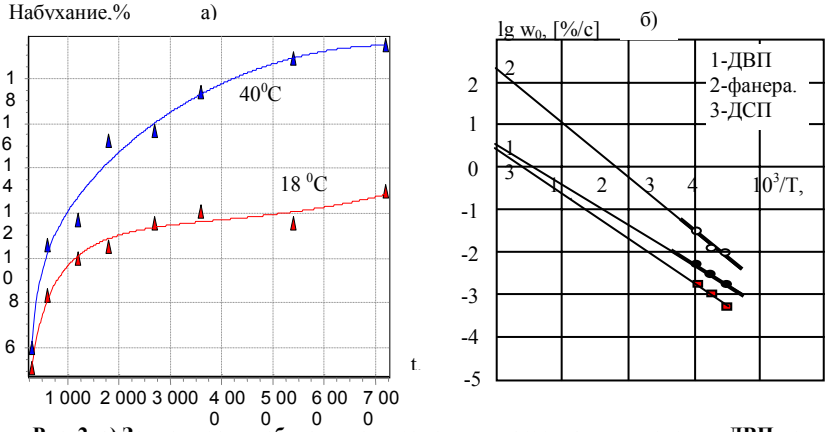


Рис. 2. а) Зависимость набухания от времени выдерживания в воде для ДВП после термостарения в течении 40 часов; б) Зависимость скорости набухания в воде от обратной температуры

плит также падает. Для фанеры до 150 часов облучения он изменяется незначительно, а затем повышается.

Исследована скорость набухания древесных композитов после их термостарения.

Кинетические кривые в координатах набухание от времени выдержки в воде представлены на рисунке 2. Они имеют экспоненциаль-

ный вид. После воздействия термостарения характер зависимостей сохраняется, а величина набухания уменьшается.

Полученные зависимости были перестроены в координатах логарифм скорости набухания от обратной температуры, где представляют собой прямые линии, описываемые уравнением вида Аррениуса

$$w = w_0 \exp\left(-\frac{E}{RT}\right)$$

(1),

где w – скорость набухания, %/с; w_0 – предэкспоненциальный множитель, %/с; E – энергия активации (набухания или разбухания) кДж/моль, R – универсальная газовая постоянная, кДж/(моль×К); T – температура, К.

Величины физических констант входящие в уравнение (1) рассчитаны по программе “Grafdiffer” и представлены в таблице 2.

Таблица 2

Значение физических констант набухания для ДВП, ДСП и фанеры

Материал	Длительность прогрева, часы	E, кДж/моль	$\lg w_0$	$E/\lg w_0$
ДВП	0	22,89	2,27	10,08
	40	67,62	10,9	6,2
	200	83,07	11,2	7,41
ДСП	0	10,62	0	–
	40	168,08	9,7	17,32
Фанера	0	17,19	0,5	34,38

Из таблицы 2 видно, что для ДВП и фанеры энергия активации набухания имеет близкие значения. Это говорит о том, что вызвано набухание древесного наполнителя, а не смолы. Вторая константа (w_0) для древесноволокнистых плит больше, что свидетельствует о большей скорости процесса. Для древесностружечных плит величины всех констант уменьшаются. Также видно, что характеристики водопоглощения зависят от длительности прогрева. С его увеличением происходит рост энергии активации набухания и предэкспоненциального множителя. Полученные данные, по-видимому, объясняются нарушением связей. Полученные данные свидетельствуют о том, что под воздействием старения (термо- и фото) структура древесных композитов сохраняется, однако происходит нарушение связей.

Нарушение связей приводит к изменению физико- механических свойств, поэтому было изучено влияние температуры и ультрафиоле-

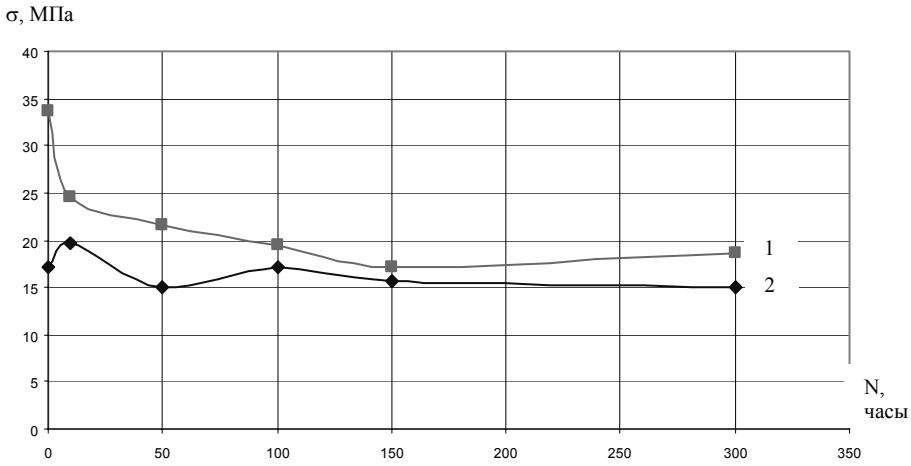


Рис. 3. Влияние УФ- облучения на прочность при поперечном изгибе для ДВП (1) и ДСП (2)

тового облучения (фотостарения) на кратковременную прочность и твердость древесных композитов.

Влияние термостарения по-разному сказывается на прочности древесных композитов. Наиболее сильно ему подвержены древесностружечные и древесноволокнистые плиты, их прочность после 200 часов прогрева составляет соответственно 89% и 42 % от первоначальной. А фанера сохраняет свою прочность практически неизменной (103 %). Незначительное повышение ее прочности при 80˚С можно объяснить доотверждением связующего.

УФ-облучение оказывает также различное влияние на прочность композитов. Так для фанеры она повышается и после 300 часов составляет 108 %, а для древесных плит значительно падает. После 300 часов облучения прочность составляет для ДВП 52 %, а для ДСП 87 %. При чем для древесноволокнистых плит ее резкое падение наблюдается в первые 50 часов, затем процесс стабилизируется, а для древесностружечных плит наблюдается равномерное падение прочности на всем интервале.

В отличие от прочности для всех древесных композитов после воздействия УФ-облучения и термостарения происходит повышение твердости. После УФ- облучения она составляет для фанеры - (115 %), ДСП – (160 %), ДВП – (124%). После термостарения твердость равна для фанеры - (164 %) , ДСП – (198 %), ДВП – (154 %).

Такое поведение композитов (снижение прочности, но повышение твердости) свидетельствует о старение связующего, а не древесного наполнителя. У фанеры слой полимера защищен от действия данного фактора древесным шпоном , поэтому падение прочности не происходит.

В процессе эксплуатации материал находится под длительным действием нагрузок и внешних факторов. Поэтому наибольший

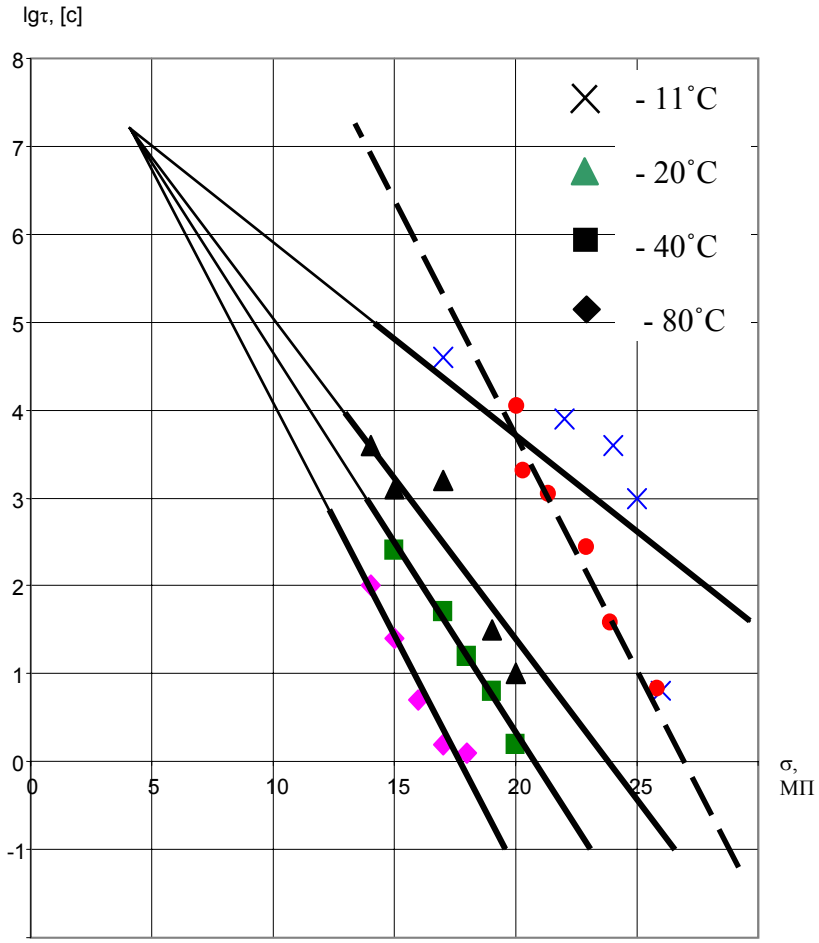


Рис. 4. Зависимость долговечности от напряжения при поперечном изгибе для ДВП ,–После 40 часов прогрева при температуре 80˚С ——— без воздействия

интерес представляет влияние термо- и фотостарения на долговечность древесных композитов. С этой целью после воздействия различных факторов (термообработка, УФ- облучение, циклы многократного замораживания- оттаивания) были получены

зависимости долговечности от напряжения (рисунок 4), которые представляют собой прямые линии.

Таблица 3

Определение поправки учитывающей влияние термостарения на примере ДВП

Напряжения, σ, МПа	Средняя температура, T,	Долговечность по формуле (11), $\lg\tau_т$, [с]	Истинная долговечность, $\lg\tau_э$, [с]	$\Delta\tau = \lg\tau_т - \lg\tau_э$, [с]	Поправка, $\Delta\tau_{ср}$, [с]
20,5	16	3,14	3,6	0,46	$-0{,}196\sigma + 4{,}47$
22		2,66	2,7	0,04	
23		2,33	2,3	-0,03	
24		2	1,8	-0,2	
25,5		1,52	1	-0,52	

Таблица 4

Поправки учитывающие действие внешних факторов на долговечность древесных композитов

Материал	Внешние факторы		
	Термостарение (40 часов прогрева при 80˚С)	Фотостарение (50 часов облучения)	Замораживание- оттаивание (30 циклов)
ДВП	$-0{,}196\sigma + 4{,}47$	$-0{,}212\sigma - 1{,}15$	$-5{,}26\sigma + 14{,}98$
ДСП	$-0{,}077\sigma - 1{,}87$	$0{,}3425\sigma - 7{,}79$	–
ФАНЕРА	$0{,}156\sigma - 24{,}41$ (при $\sigma > 130$ МПа); $0{,}038\sigma - 5{,}15$ (при $\sigma < 130$ МПа)	$0{,}134\sigma - 9{,}99$(при $\sigma > 80$ МПа); $0{,}202\sigma - 15{,}39$(при $\sigma < 80$ МПа)	$0{,}103\sigma - 15{,}85$

Следует отметить, что после воздействия термостарения и УФ-облучения долговечность древесных плит и фанеры падает. Прогнозирование долговечности древесных композитов в широком диапазоне нагрузок и температур осуществляется с помощью уравнений (2), (3), а действие внешних факторов учитывается поправками.

$$\tau = \tau_m \exp\left[\frac{U_0 - \gamma\sigma}{R}\left(T^{-1} - T_m^{-1}\right)\right] - \Delta \qquad (2),$$

$$\tau = \tau_m^* \exp\frac{U_0^* - \gamma^*\sigma}{RT}\left(\frac{T_m^*}{T} - 1\right) - \Delta \qquad (3)$$

Пример расчета поправок, а также их величин представлены в таблицах 3 и 4.

Также были получены закономерности разрушения ДСП после термостарения(рисунок 5). Из рисунка 5 видно, что вид зависимости

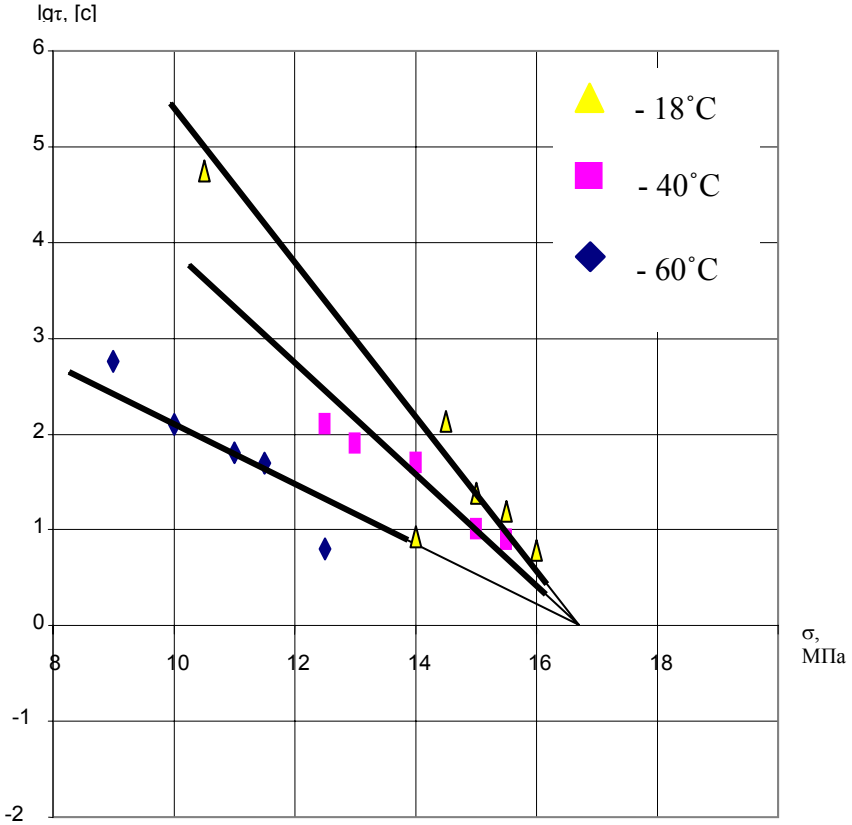


Рис. 5. Зависимость долговечности от напряжения при поперечном изгибе для ДСП после 50 часов термообработки при 80 ^{0}C

сохранился, изменился только наклон прямых. По полученным зависимостям (рисунок 5) графоаналитическим способом были определены физические константы, значения которых представлены в таблице 5.

Таблица 5

Физические константы для ДСП при поперечном изгибе

Материал	Длительность термостарения, часов	Интервал напряжения	τ_m (τ_m^*), с	T_m (T_m^*), К	U_0 (U_0^*), кДж/моль	γ (γ^*) кДж/(моль×МПа)
ДСП	0	–	$10^{-2,6}$	513	245	10,83
	150		10	363,63	200	9,48

После теплового старения для древесностружечных плит происходит изменение всех констант : три константы (T_m, U_0 и γ) уменьшаются и одна (τ_m) увеличивается. Наиболее существенно данный фактор сказывается на величинах T_m и τ_m, что связано со структурными изменениями фенолформальдегидной смолы.

Полученные данные позволяют прогнозировать работоспособность (долговечность, прочность и термостойкость) древесных композитов в широком диапазоне эксплуатационных параметров, с учетом их многократного замораживания-оттаивания, тепло- и фотостарения старения.

Основные выводы

1. Получены закономерности скорости набухания в воде древесноволокнистых, древесностружечных плит и фанеры в широком диапазоне постоянных температур, которые позволяют прогнозировать скорость набухания.
2. Определены поправки, позволяющие учитывать влияние многократного замораживания- оттаивания на долговечность древесноволокнистых плит и фанеры.
3. Установлено, что после воздействия термостарения и УФ- облучения структура древесных композитов сохраняется, однако происходит нарушение связей.
4. Установлено, что тепловое старение оказывает отрицательное влияние на прочность древесных плит и положительное на прочность фанеры. При этом для всех материалов наблюдается повышение твердости.
5. Установлено, что фотостарение оказывает отрицательное влияние на прочность древесных композитов и положительное на их твердость.

6. Определены поправки, позволяющие учитывать влияние УФ-облучения и термостарения на долговечность древесных композитов.

7. Для древесностружечных плит получена зависимость долговечности от напряжения после термостарения. Вид зависимости сохранился, однако происходит изменение всех констант.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. *Ярцев В.П.* Влияние температуры и влаги на старение древесных плит и фанеры./ Ярцев В.П., Киселёва О.А., Сузюмов А.В., Рындин В.О. // Композиционные строительные материалы. Теория и практика: Сб. научных трудов Международной научно-техн. конф. – Пенза, 2004. С. 126-128.

2. *Рындин В.О.* Влияние температуры на долговечность и прочность древесных композитов. / Рындин В.О. , Киселёва О.А., Кузнецов А.Г. // Сборник статей магистрантов по материалам научной конференции. Выпуск 1. Часть 2. – Тамбов: ТОГУП «Тамбовполиграфиздат», 2005. С. 91-94.

3. *Рындин В.О.* Набухание древесных композитов. / Рындин В.О., Киселёва О.А. // Современные проблемы науки глазами будущих ученых : сборник статей магистрантов. Выпуск III. - Тамбов: ТОГУП «Тамбовполиграфиздат», 2005. С. 88-90.

4. *Ярцев В.П.* Влияние термостарения на прочность и долговечность древесных композитов. / Ярцев В.П., Киселёва О.А., Рындин В.О., // Сборник материалов VI Международной научно- технической конференции. << Актуальные проблемы строительства и строительной индустрии>> -Тула, 2005. С. 27-28.

На правах рукописи

Шереметьев Александр Владимирович

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕЦИЗИОННОГО ПРИВОДА ДЛЯ КОНТУРОШЛИФОВАЛЬНОГО ПОЛУАВТОМАТА С ЧПУ

Направление 150400. Технологические машины и оборудование
Магистерская программа 150400.15 –
Приводы и системы управления
технологическими машинами и оборудовани**ем**

АВТОРЕФЕРАТ
магистерской диссертации на соискание степени
магистра техники и технологии

Тамбов 2006

Работа выполнена в Тамбовском государственном техническом университете на кафедре «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты»

Научный руководитель Кандидат технических наук,

доцент Лучкин В.К.

Защита состоится 21 июня 2006 г. на кафедре ТМ, МС и И Тамбовского государственного технического университета.

С диссертацией можно ознакомиться в технической библиотеке Тамбовского государственного технического университета.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Потребность в малых перемещениях и скоростях в технике очень широка и разнообразна, но особенно они необходимы для шлифовальных и координатных станков, применительно к которым механизмы микроподачи и получили самые оригинальные и разнообразные решения. Так, малые перемещения необходимы для точного позиционирования исполнительных механизмов в строго заданную координату, в том числе в станках с ЧПУ, оснащенных позиционной системой управления. В станках с позиционной системой точность установки координат является их одной из самых важных технических характеристик, и она тем выше, чем меньше величины перемещений возможны в станке. Малые перемещения используют для осуществления врезной радиальной подачи, для компенсации размерного износа инструмента в координатных станках и особенно шлифовального круга в шлифовальных станках. В зубошлифовальных станках они, кроме того, нужны для образования фланков и бочкообразности.

Во многих точных станках малые перемещения используются для коррекции различных неточностей в системе СПИД, вызванных температурными колебаниями и обусловленных нагрузками (силами резания, гравитационными силами и т.д.) упругих деформаций, а также для управления точностью формы и размеров обрабатываемых изделий, отвода инструмента и т.д.

При использовании систем автоматического регулирования, адаптивного управления и автоматической компенсации погрешностей отрабатываются малые подналадочные перемещения различной величины с большой степенью точности не только перед началом или в конце рабочего цикла, но также по результатам активного контроля и в процессе самого рабочего цикла, что значительно повышает качество и производительность обработки. Величина таких малых подналадочных перемещений может быть самой различной от долей миллиметра до долей микрометра.

В большинстве случаев в позиционных системах исполнительный орган перемещается обычными механизмами и только вблизи от заданной координаты его точное позиционирование осуществляется механизмами микроподачи, при этом точность установки тем больше, чем меньше скорость позиционирования. Снижение скорости при подходе к заданной координате может производиться в несколько этапов.

Для осуществления того или иного технологического процесса обычно имеется строго определенная величина скорости перемещения

исполнительных узлов, оптимальная с точки зрения производительности и обеспечения необходимого качества обрабатываемого изделия. Если для повышения производительности необходимо увеличение скорости подачи, то для повышения точности и чистоты обработки изделия, ее следует уменьшать. Например, чем меньше подача при окончательном, шлифовании, тем меньше шероховатость обработанной поверхности. Кроме того, имеется большое разнообразие других факторов, по-разному влияющих на процесс обработки и качество готовых изделий (вид обработки, материал изделия и инструмента, их размеры и геометрические формы, величина припуска и т.д.), вызывающие необходимость регулирования малой скорости подачи исполнительных органов.

Подобный перечень примеров можно продолжить, однако сказанное достаточно убедительно показывает, насколько велики потребности в малых перемещениях и скоростях и их регулировании.

Таким образом, актуальность постоянного совершенствования привода подачи станков в отношении минимально возможных величин перемещений и скоростей сохраняется.

Цель работы. Разработка гидромеханического привода подач контурошлифовального полуавтомата. Повышение точности и расширение технологических возможностей контурошлифовального полуавтомата за счет применения гидравлических связей на основе гидравлического привода микроподачи. Составление динамической модели и исследование динамики гидравлической цепи привода микроподач. Анализ точности обработки деталей на контурошлифовальном полуавтомате.

Научная новизна заключается:

- в технически обоснованном применении гидравлического шагового привода микроподач и микроперемещений в приводе подач контурошлифовального станка для обработки деталей сложного контура, что способствует повышению точности и расширению технологических возможностей станка;

- в разработке математической модели работы привода подачи контурошлифовального станка для обработки деталей сложного контура, применяемой для анализа точности исполнения кинематической цепи привода подач, исследования характера работы привода и определения значений его рабочих параметров.

Структура и объем диссертации:

Работа состоит из введения, четырёх глав, выводов, списка литературы из 19 наименований. Материал диссертации изложен на 98 страницах и содержит 15 рисунков и 2 таблицы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследований, научная новизна.

Первая глава посвящена анализу механических связей, применяемых при построении внутренних кинематических цепей металлорежущих станков, выявлению недостатков присущих механическим _анематическим цепям. Рассмотрению принципиально нового подхода к повышению точности металлорежущих станков основанного на применение механизмов микроподачи.

Сформулированы основные задачи диссертационного исследования:

1. Найти способ осуществления и регулирования микроподачи, способного отвечать современным требованиям к прецизионным металлорежущим станкам;
2. Разработать привод микроподачи с принципиальной проработкой основных его элементов;
3. Разработать и исследовать динамическую модель привода, дать алгоритм аналитического решения по определению закона изменения параметров привода с использованием ЭВМ;
4. Дать рекомендации к применению и общий порядок по выбору и расчету основных параметров привода микроподачи.

Вторая глава посвящена конструкторской разработке дискретного электрогидравлического привода применяемого в качестве приводе подач контурошлифовального полуавтомата. Применение провода микроподач позволяет повысить точность и расширить технологические возможности полуавтомата для обработки деталей сложного контура.

Привод включает в себя: 1 – гидравлический узел питания; сильфонный гидроцилиндр, включающий в себя: 2 – гидроцилиндр, 3 и 4 – фланцы, 6 и 7 – сильфоны, 8 и 9 – боковые крышки, 10 – центральная подвижная стенка; 5 – исполнительный узел; 11 – дозирующий сильфон; 12 и 13 – кронштейны; 14 – шариковая винтовая пара качения; 15 – реверсивный шаговый двигатель; 16 – ограничитель; 17, 18, 19 – фиксирующие зажимы; 20 – затвор разовой заправки (рисунок 7).

Как видно, конструкция данного привода незначительно отличается от конструкции рассмотренного ранее. Однако, изменения, внесённые в его конструкцию, отличают его работу по сравнению с предыдущим.

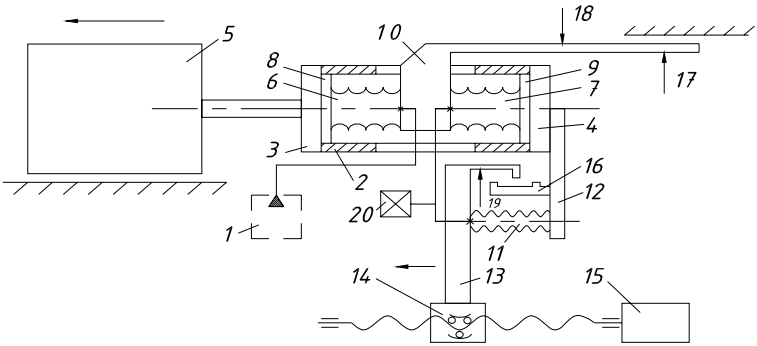


Рис.1. Привод микроподач и микроперемещений

Заправка рабочей жидкостью и установка центральной подвижной стенки 10 и кронштейна 13 в среднее положение осуществляется также.

Для осуществления приводом ускоренного или рабочего перемещения зажим 17 освобождается, в результате чего исполнительный узел 5, сильфонный гидроцилиндр, кронштейны 12 и 13 перемещаются как одно целое. По окончании ускоренного или рабочего перемещения включается зажим 17, фиксирующий достигнутое положение гидроцилиндра, а следовательно, и исполнительного узла 5 , а зажимы 18 и 19 освобождаются, что делает привод готовым к осуществлению микрошаговых перемещений.

Микрошаговые перемещения в данном приводе осуществляются аналогично перемещениям, осуществляемым в предыдущем приводе.

После завершения микрошаговых перемещений положение исполнительного узла 5 фиксируется зажимами 18 и 19.

Таким образом, привод позволяет осуществлять ускоренные (рабочие) перемещения на большие расстояния, произвольно изменять величину, скорость и направление микрошаговых перемещений.

Выполнены проектировочные и проверочные расчеты волнового гидравлического двигателя и передачи винт-гайка качения.

В третьей главе разрабатывается математическая модель привода с учетом распределенных параметров.

Запишем уравнение динамики, выражающее движение центральной подвижной стенки 10 (см. рис .1), которая приводит в действие исполнительный узел, в зависимости от разности давлений рабочей жидкости в полостях 7 и 8 сильфонного гидроцилиндра:

$$m \cdot \frac{d^2 y(t)}{dt^2} = P_8(t) \cdot F_8 - P_7(t) \cdot F_7 - C_g \cdot y(t) \qquad (1)$$

$$R(t) = N \cdot (k_0 - k_v \cdot \frac{dy(t)}{dt}) \; ; \qquad (2)$$

$$\frac{dy(t)}{dt} = \left| \begin{array}{l} 0 \;\; при \;\; \left| P_6(t) \cdot F_6 - P_7(t) \cdot F_7 - C_g \cdot y(t) \right| \le R(t) \\ \neq 0 \;\; при \;\; \left| P_6(t) \cdot F_6 - P_7(t) \cdot F_7 - C_g \cdot y(t) \right| \ge R(t) \end{array} \right. , \qquad (3)$$

где m – масса центральной подвижной стенки 10; $y(t)$ – перемещение стенки 10; $P_7(t)$, $P_8(t)$ - давление рабочей жидкости в полостях сильфонного гидроцилиндра; F_7, F_8 - эффективные площади сильфонов 7 и 8; C_g - осевая жесткость двух последовательно соединенных сильфонов ($C_g = \frac{C_1 + C_2}{C_1 \cdot C_2}$).

Считаем, что питающее давление рабочей жидкости на входе сильфона 8 постоянно, т.е.:

$$P_n = const \qquad (4)$$

Давление в рабочих полостях сидьфонного гидроцилиндра:

$$P_7(t) = P_{вых}(t) + V_{вых}(t) \cdot K_{вых} \; ; \qquad (5)$$

$$P_8(t) = P_n - V_{вх}(t) \cdot K_{вх} \; , \qquad (6)$$

где $P_{вых}(t)$, $V_{вых}(t)$ и $K_{вых}$ - соответственно, давление, скорость движения рабочей жидкости и коэффициент местного сопротивления на выходе сильфона 7; $V_{вх}(t)$ и $K_{вх}$ - скорость движения рабочей жикости и коэффициент местного сопротивления на входе в сильфон 8.

Расход рабочей жидкости на входе сильфона 8 и на выходе сильфона 7 определяется:

$$V_{вх}(t) \cdot f_1 = F_8 \cdot \left[\frac{dy(t)}{dt} + \frac{l_8 + y(t)}{E_8} \cdot \frac{dP_8(t)}{dt} \right] \; ; \qquad (7)$$

$$V_{вых}(t) \cdot f_2 = F_7 \cdot \left[\frac{dy(t)}{dt} + \frac{l_7 - y(t)}{E_7} \cdot \frac{dP_7(t)}{dt} \right] , \qquad (8)$$

где f_1 - площадь сечения питающего трубопровода к сильфону 8, а f_2 - трубопровода, соединяющего выход сильфона 7 со входом дозирующего сильфона 11; l_7 и l_8 - длина сильфонов 7 и 8 в исходном

положении; E_7 и E_8 - приведенные модули упругости полостей сильфонов 7 и 8.

Для учета волновых процессов в приводе воспользуемся системой волновых дифференциальных уравнений:

$$\left.\begin{aligned} \frac{\partial P(x,t)}{\partial x} &= -\rho \cdot \frac{\partial V(x,t)}{\partial t} \\ \frac{\partial P(x,t)}{\partial t} &= -\rho \cdot c^2 \cdot \frac{\partial V(x,t)}{\partial x} \end{aligned}\right\} \qquad (9)$$

Система уравнений (9) с учётом конкретной модели привода может быть приведена к следующему виду:

$$\left.\begin{aligned} & P_{\partial.вх}(t) = P_{вых}(t) + \frac{1}{2} \cdot T_г^{\,2} \times \frac{d^2 P_{вых}(t)}{dt^2} - T_г \times \omega \times \frac{dv_{вых}(t)}{dt} - \\ & -\frac{1}{6} \cdot T_г^3 \times \omega \times \frac{d^3 v_{вых}(t)}{dt^3}; \\ & v_{\partial.вх}(t) = v_{вых}(t) - \frac{1}{2} \cdot T_г^{\,2} \times \frac{d^2 v_{вых}(t)}{dt^2} - \frac{T_г}{\omega} \times \frac{dP_{вых}(t)}{dt} - \\ & -\frac{1}{6} \cdot \frac{T_г^3}{\omega} \times \frac{d^3 P_{вых}(t)}{dt^3}; \end{aligned}\right\}. \qquad (10)$$

В системе уравнений (10) дополнительно обозначено:

$P_{\partial.вх}(t)$, $v_{\partial.вх}(t)$ - соответственно, давление и скорость движения рабочей жидкости на входе в дозирующий сильфон 13; $T_г$ - постоянная времени трубопровода ($T_г = \frac{l_0}{c}$, где l_0 - длина трубопровода, соединяющего сильфоны 7 и 13; c – скорость распространения ударной волны по трубопроводу), ω - волновое сопротивление трубопровода ($\omega = \rho \times c$, где ρ - где плотность рабочей жидкости).

И, наконец, опишем процессы, происходящие в дозирующем сильфоне 11:

$$P_\partial(t) = P_{\partial.вх}(t) - V_{\partial.вх}(t) \cdot K_{\partial.вх}\ ; \qquad (11)$$

$$V_{\partial.вх}(t) \cdot f_2 = F_\partial \cdot \left[\frac{dz(t)}{dt} - \frac{l_\partial + z(t)}{E_\partial} \cdot \frac{dP_\partial(t)}{dt} \right], \qquad (12)$$

где $P_\partial(t)$, $K_{\partial.вх}$, F_∂, l_∂, E_∂ - характеристики и параметры дозирующего сильфона 11, соответственно, давление, коэффициент местного сопротивления на входе, эффективная площадь, длина в исход-

ном положении и приведенный модуль упругости; $z(t)$ - перемещение кронштейна 13.

При работе шагового двигателя на участках с постоянной рабочей частотой в формуле (12) можно сделать замену:

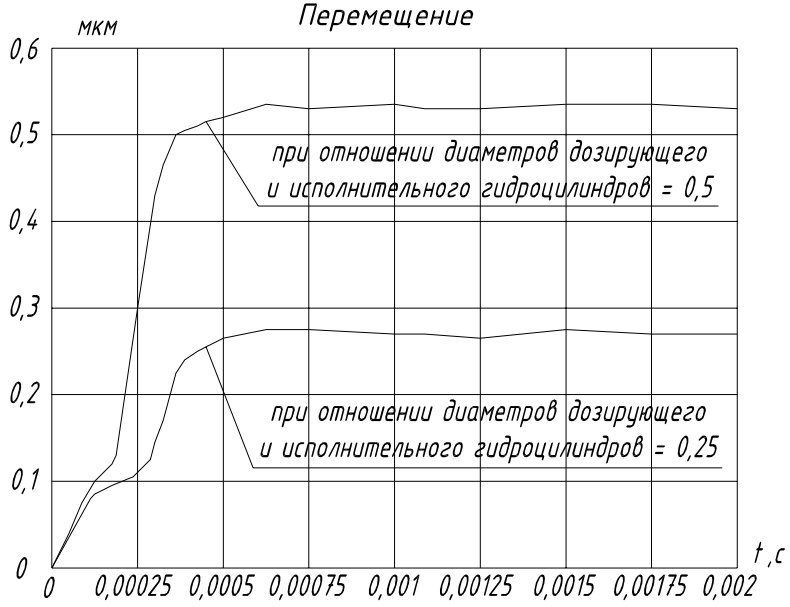
$$\frac{dz(t)}{dt} = \delta \cdot f_0 \quad \text{и} \quad z(t) = \delta \cdot f_0 \cdot t \,,$$

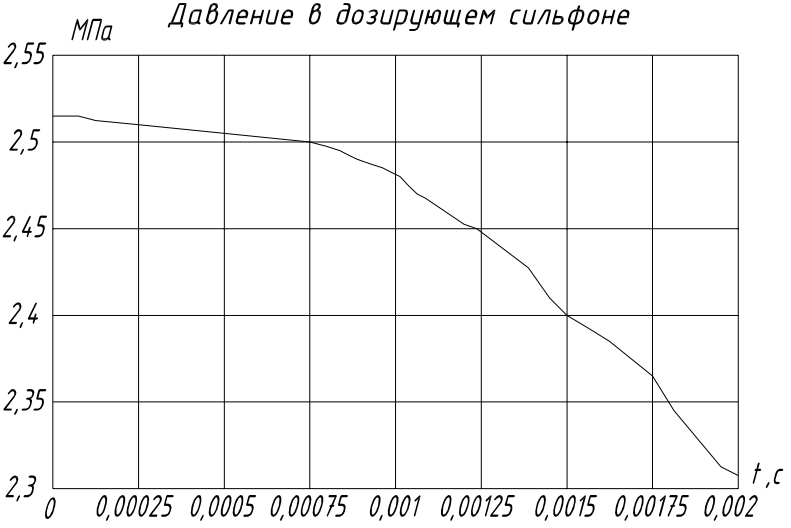
где f_0 - частота управляющих импульсов, t - время.

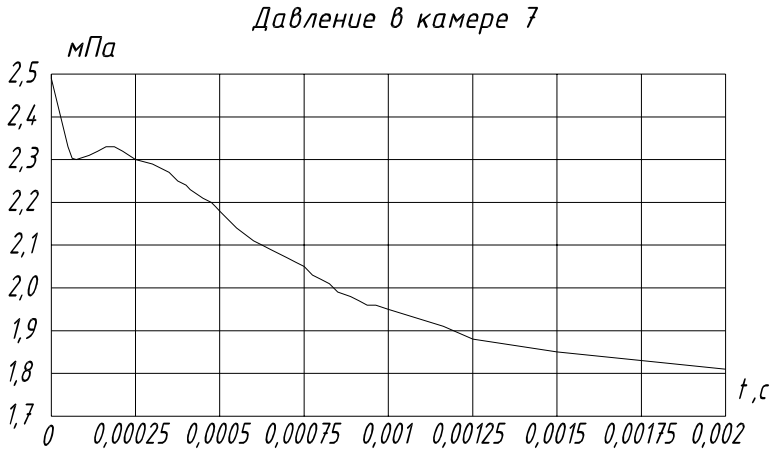
Уравнения (1) – (12) представляют собой динамическую модель привода микроперемещения.

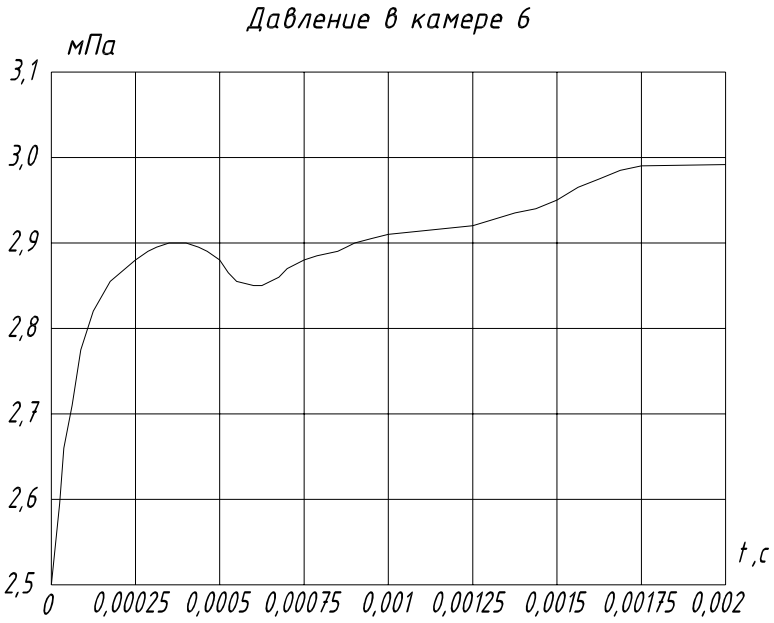
На основании построенной математической модели предлагается алгоритм решения задачи по определению закона изменения параметров привода. Разрабатывается программа на языке Borland Си++ по решению указанной задачи методом Рунге-Кутта с автоматическим выбором шага. По результатам программы построены зависимости параметров работы привода.

В четвертой главе рассматривается некоторые вопросы, касающиеся точности полуавтомата. Погрешности при обработке деталей являются результатом влияния погрешности шага ходовых винтов, погрешности позиционирования стола, и погрешность контура обрабатываемого изделия.


Перемещение
мкм
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
при отношении диаметров дозирующего
и исполнительного гидроцилиндров = 0,5
при отношении диаметров дозирующего
и исполнительного гидроцилиндров = 0,25
t ,c
0
0,00025
0,0005
0,00075
0,001
0,00125
0,0015
0,00175
0,002


Давление в дозирующем сильфоне
МПа
2,55
2,5
2,45
2,4
2,35
2,3
t ,c
0
0,00025
0,0005
0,00075
0,001
0,00125
0,0015
0,00175
0,002


Давление в камере 7
мПа
2,5
2,4
2,3
2,2
2,1
2,0
1,9
1,8
1,7
t ,c
0
0,00025
0,0005
0,00075
0,001
0,00125
0,0015
0,00175
0,002


Давление в камере 6
мПа
3,1
3,0
2,9
2,8
2,7
2,6
2,5
t ,c
0
0,00025
0,0005
0,00075
0,001
0,00125
0,0015
0,00175
0,002

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

Диссертационная работа была посвящена разработке и исследованию гидромеханического привода подач контурошлифовального полуавтомата, а также повышению точности и расширение технологических возможностей контурошлифовального полуавтомата за счет применения гидравлических связей на основе гидравлического привода микроподачи..

Результаты проведенного расчета математической модели привода микроперемещений с использованием ЭВМ позволяют решить вопрос о возможной степени точности обработки, и возможном влиянии всех параметров привода на его работу в целом.

В итоге, полученные результаты показали, что порядок дискретности привода микроперемещений при отработке одного импульса при отношении диаметров дозирующего и силового сильфонов $1/2$ составляет 0,5 мкм, а при отношении $1/4$ - 0,25 мкм, в то время как порядок дискретности без применения привода составляет 1 мкм, то есть в 2 и 4 раза меньше. Кроме того, результаты позволяют судить о характере отработки приводом одного импульса, а так как отработка всех импульсов одинакова, то и характер работы привода становится также известен.

Разработанный привод микроподач для контурошлифовального полуавтомата модели МА396Ф3 позволяет вести обработку деталей с точностью выше, чем точность аналогичных деталей обработанных на полуавтомате без применения привода микроподач. Повышение точности воспроизведения в случае применения дискретного электрогидравлического привода микроподачи, можно объяснить тем, что в случае его применения точностная цепь укорачивается, так как из цепи исключается червячная передача.

Основные результаты работы состоят в следующем:

1. Обзор существующих приводов микроподачи и анализ причин неравномерности движения исполнительных узлов позволил взять за основу электрогидравлический дискретный способ регулирования.
2. Обоснована возможность и рациональность регулирования малых расходов рабочей жидкости, а, следовательно, малых перемещений и скоростей с помощью дискретных объемнодозирующих устройств.
3. Рассмотрены различные варианты дискретных электрогидравлических приводов микроперемещений на основе сильфонных компенсаторов с регулируемой и не регулируемой дискретностью.

4. На основе данного привода создан привод подач для контурошлифовального полуавтомата модели МА396Ф3..

5. Разработана динамическая модель привода микроподачи с учетом распределенных параметров в структуре гидросистемы и с использованием решение системы волновых уравнений для нулевых и ненулевых начальных условий с помощью двойного преобразования Лапласа, позволившее установить связь между значениями параметров в граничных сечениях трубопровода, а также отражающая другие особенности привода.

6. Приведена структурная схема динамической модели привода в виде элементарных функциональных звеньев.

7. Предложен алгоритм решения задачи по определению закона изменения параметров привода. Разработана и отлажена программа на языке Borland Си++ по решению указанной задачи методом Рунге-Кутта с автоматическим выбором шага.

8. Выполнены примеры численных расчетов переходных процессов по перемещению исполнительного узла и давлению в полостях рабочего и дозирующего гидроцилиндров, а также расчеты по анализу влияния различных параметров на перемещение привода.

Все сказанное свидетельствует о правильности структурного построения разработанного привода микроподачи и возможности использования его в качестве исходного при проектировании рабочих вариантов, например, приводов подачи прецизионных шлифовальных станков, механизмов компенсации износа шлифовального круга, механизмов установки глубины врезания, коррекции и других точных механизмов.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. *Шереметьев А.В*. Повышение точности контурошлифовального полуавтомата с ЧПУ мод. МА396Ф3. // Инновации в мире российской науки XXI века. Сборник статей магистрантов. Выпуск II. – Тамбов: ТОГУП «Тамбовполиграфиздат», 2005. – С. 11-13.

2. *Шереметьев А.В.* Динамическая модель привода микроперемещений контурошлифовального полуавтомата с ЧПУ мод. МА396Ф3. //. Современные проблемы науки глазами будущих ученых. Сборник статей магистрантов. Выпуск III. – Тамбов: ТОГУП «Тамбовполиграфиздат», 2005. – С. 7-9.

На правах рукописи

Рухов Артём Викторович

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОВМЕСТНОГО ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОСА В АДСОРБЦИОННОМ АППАРАТЕ С НЕПОДВИЖНЫМ СЛОЕМ СОРБЕНТА

Направление 150400. Технологические машины и оборудование
Магистерская программа 150400.19 –
Информационные системы технологических машин

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание степени
магистра техники и технологии

Тамбов 2006

Работа выполнена на кафедре «Автоматизированное проектирование технологического оборудования» Тамбовского государственного технического университета

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ:
доктор технических наук,
профессор **Малыгин Евгений Николаевич**

НАУЧНЫЙ КОНСУЛЬТАНТ:
доктор технических наук,
доцент **Туголуков Евгений Николаевич**

РЕЦЕНЗЕНТ
доктор технических наук,
профессор **Фролов Сергей Владимирович**

ВЕДУЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ: ОАО «Росхимзащита»,
г. Тамбов

Защита диссертации состоится «20» июня 2006 г. в 10 ч. 00 мин. на заседании государственной аттестационной комиссии Тамбовского государственного технического университета по адресу:
392000, г. Тамбов, ул. Ленинградская, 1, каф. АПТО, ауд. 143.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат подготовлен «1» июня 2006 г.

Секретарь государственной
аттестационной комиссии **Н. В. Нагайцева**

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Адсорбционный метод – один из наиболее универсальных и эффективных методов очистки, разделения и хранения газовых и жидких сред. Однако успешное внедрение его в промышленность зависит, в частности, от эффективности эксплуатируемых и проектируемых адсорбционных установок, совершенствования действующих процессов, инженерных методик расчета равновесия систем адсорбат – адсорбент, кинетики в отдельном зерне адсорбента и динамики макрослоя адсорбентов, конструктивных решений и методов оптимизации адсорбционных процессов.

Важным этапом в разработке адсорбционного оборудования является выбор оптимальных вариантов аппаратурного оформления процесса. Выполнение указанных задач полностью определяет технико-экономические оценки выбираемых вариантов.

Решение ряда прикладных инженерных задач, связанных с разработкой и эксплуатацией адсорбционного оборудования, может быть основано на математическом моделировании взаимосвязанных нестационарных полей концентраций и температур в объеме адсорбционного аппарата.

В данной работе рассмотрена методика математического моделирования взаимосвязанных нестационарных полей концентраций и температур в адсорбционном аппарате с неподвижным слоем сорбента, математическая модель, разработанная по данной методике, и предложен алгоритм ее решения.

Цель работы. Разработать методику расчета взаимосвязанных нестационарных полей концентраций и температур в адсорбционном аппарате с неподвижным слоем сорбента. Для этого необходимо решить следующие задачи:

– Разработать математическую модель нестационарного тепло- и массопереноса в адсорбционном аппарате с неподвижным слоем сорбента. Она также должна учитывать специфические особенности работы реальных промышленных адсорбционных колон, т.е. неравномерность подачи смеси, переменная концентрация адсорбтива в потоке инертного носителя и т.д..

– Разработать алгоритм решения уравнений математической модели при различных условиях.

– Выполнить проверку адекватности математической модели.

Научная новизна:

– Предложена методика расчета периодических адсорбционных аппаратов колонного типа с не подвижным слоем сорбента, основанная на моделировании взаимосвязанных нестационарных концентрационных и температурных полей локальных областей теплообменного аппарата с использованием аналитических решений задач массо- и теплообмена в потоке инертного носителя и гранулах сорбента.

– Поставлена задача оптимизации адсорбера с неподвижным слоем сорбента.

– Разработан алгоритм расчета взаимосвязанных нестационарных концентрационных и температурных полей в потоке и гранулах сорбента адсорбционного аппарата колонного типа.

– Выполнен технологический расчет адсорбционной колонны при переменной начальной концентрации адсорбтива в потоке.

Практическая ценность.

Разработана методика расчета периодических адсорбционных аппаратов колонного типа с неподвижным слоем сорбента, которая может использоваться для модификации существующих конструкций с целью повышения эффективности их работы на предприятиях химической промышленности, а также в проектных организациях и в научных институтах. Кроме того, данная методика может быть использована студентами машиностроительных факультетов ВУЗов при выполнении курсовых и дипломных проектов.

Апробация работы. Основные результаты и выводы диссертационной работы докладывались и обсуждались на, заседании секции Ученого совета НОЦ 2005 г., научной конференции 15-17 февраля 2005 года, интернет-форуме магистрантов ВУЗов России "Инновация в мире Российской науки XXI века", втором интернет-форуме магистрантов ВУЗов России "Современные проблемы науки глазами будущих ученых", третьем интернет-форуме магистрантом ВУЗов России "Новые идеи молодых ученых в науке XXI века", а также на научных семинарах кафедры АПТО ТГТУ.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 6 научных работ.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, шести глав и заключения, включающих 154 страниц машинописного текста и 14 рисунков, а также списка использованных источников литературы, содержащего 34 наименований, и 13 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы задачи исследования.

В первой главе представлена терминология, причины адсорбции (квантомеханические взаимодействия молекул адсорбтива и поверхности твердого тела), термодинамические основы поверхностных явлений, основные теории статики адсорбции, основные теории динамики адсорбции, методики расчета адсорбционного оборудования, рассмотрены прикладные задачи адсорбции. На основе литературного обзора выявлены основные механизмы адсорбции, их природа и управляющие факторы. Рассмотрены процессы, протекающие в адсорбционном аппарате и их взаимосвязь. Выявлены основные прикладные задачи адсорбции.

Вторая глава посвящена вопросам оптимизации периодического адсорбера колонного типа с неподвижным слоем сорбента. Выполнен анализ объекта оптимизации, разработана структура критерия оптимальности, определенны параметры оптимальности и вид ограничений, поставлена задача оптимизации.

В объекте оптимизации можно выделить три основных взаимосвязано протекающих процесса:

– диффузионный (массоперенос адсорбтива из потока на поверхность гранулы сорбента и массопередача адсорбата внутри гранулы сорбента);

– тепловой (теплопередача внутри гранулы сорбента, теплоотдача от поверхности гранулы сорбента в поток инертного носителя, теплоотдача от потока к внутренней стенке аппарата и теплоотдача от стенки адсорбционного аппарата в окружающею среду);

– гидродинамический (обтекание инертным носителем адсорбтива гранул сорбента).

Конструктивные и режимные параметры:

– высота насыпки сорбента H;

– внутренний диаметр аппарата D;

– начальная температура подаваемой в аппарат смеси $T_н$;

– скорость потока W;

– абсолютное давление в аппарате P;

периодического адсорбционного аппарата колонного типа с неподвижным слоем сорбента, необходимые для обеспечения заданного времени защитного действия, являются решением следующей задачи оптимизации.

С учетом допущений:

– поля концентраций и температур адсорбционного аппарата представлены как совокупность концентрационных и температурных полей локальных областей образующих его объем Рис.1;

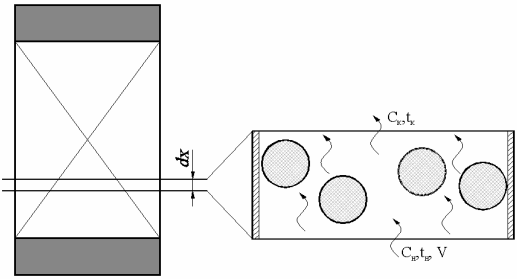


Рис. 1. Локальная область адсорбционного аппарата

– конструкция адсорбционного аппарата фиксирована (аппарат колонного типа с неподвижным слоем сорбента);

– адсорбент фиксирован;

– структура адсорбента однородна;

– молекулярный перенос в потоке носителя адсорбтива ничтожно мал;

можно записать:

$$\{H, D, T_н, W, P\} \tag{1}$$

$$I = З_{пр} = З_э + З_к \to \min \tag{2}$$

$$З_к = [Ц_{сорб} H\pi D \cdot \rho_н + \delta(D,H,P) \cdot Ц_{мет}] / [\frac{\tau_э}{\tau(W,P,T_н)}]$$

$$З_э = Ц_{эн} \cdot P(D,W) \cdot \tau(W,P,T_н) \cdot \frac{H}{S}$$

$$\frac{\partial c_n(x,\tau)}{\partial \tau} + W \frac{\partial c_n(x,\tau)}{\partial x} + K_1 \; c_n(x,\tau) = F_1(x,\tau); \tag{3}$$

где $K_1 = \dfrac{3\beta \cdot (1-\varepsilon)}{R \cdot \rho_n}$, $F_1(x,\tau) = K_1 \cdot c_F^*(x,\tau)$

Н.У. $c_n(x,0) = f_{n2}(x)$

Г.У. $c_n(0,\tau) = c_{0n2}(\tau)$.

$$\frac{\partial t_n(x,\tau)}{\partial \tau} + W \frac{\partial t_n(x,\tau)}{\partial x} + K_2 \; t_n(x,\tau) = F_2(x,\tau);$$

где $K_2 = \dfrac{\alpha_ш \Pi_1 + \alpha_c \Pi_2}{R \cdot \rho_n \cdot c_n}$, $F_2(x,\tau) = \dfrac{4(\alpha_ш \Pi_1 t_{F1}(\tau) + \alpha_c \Pi_2 t_{F2}(x,\tau))}{\pi D^2 \cdot \rho_n \cdot c_n}$,

$\Pi_1 = \dfrac{3 \cdot \pi D^2 (1-\varepsilon)}{4R}$, $\Pi_2 = \pi D$

Н.У. $t_n(x,0) = f_{n1}(x)$

Г.У. $t_n(0,\tau) = t_{0n1}(\tau)$

$$\frac{\partial c_ш(r,\tau)}{\partial \tau} = D\left(\frac{\partial^2 c_ш(r,\tau)}{\partial r^2} + \frac{2}{r}\frac{\partial c_ш(r,\tau)}{\partial r}\right); \quad 0 \le r \le R;$$

Н.У. $c_ш(r,0) = f_{ш2}(r) - c_n^*$

Г.У. $c_ш(0,\tau) < \infty$

$$D\frac{\partial c_ш(R,\tau)}{\partial r} + \beta \cdot c_ш(R,\tau) = 0.$$

$$\frac{\partial t_ш(r,\tau)}{\partial \tau} = a^2\left(\frac{\partial^2 t_ш(r,\tau)}{\partial r^2} + \frac{2}{r}\frac{\partial t_ш(r,\tau)}{\partial r}\right) + \frac{q}{c_ш \rho_ш}; \quad 0 \le r \le R;$$

$a^2 = \dfrac{\lambda_ш}{c_ш \cdot \rho_ш}$ - температуропроводность материала гранул сорбента;

Н.У. $t_ш(r,0) = f_{ш1}(r) - t_n$

Г.У. $t_ш(0,\tau) < \infty$

$$\lambda_ш \frac{\partial t_ш(R,\tau)}{\partial r} - \alpha_ш \cdot t_ш(R,\tau) = 0$$

$$\frac{\partial t_c(y,\tau)}{\partial \tau} = a_1^2 \frac{\partial t_c^2(y,\tau)}{\partial y^2}; \quad 0 \le y \le \theta;$$

$a_1^2 = \dfrac{\lambda_c}{c_c \cdot \rho_c}$ - температуропроводность материала стенки адсорбера;

Н.У. $t_c(y,0) = f_c(y)$

Г.У. $\lambda_c \dfrac{\partial t_c(0,\tau)}{\partial \tau} + \alpha_c(t_п - t_c(0,\tau)) = 0;$

Г.У. $\lambda_c \dfrac{\partial t_c(\theta,\tau)}{\partial \tau} + \alpha_{cp}(t_c(\theta,\tau) - t_{cp}) = 0.$

$$H_{\min} \le H \le H_{\max} \qquad (4)$$

$$D_{\min} \le D \le D_{\max}$$

$$T_{\min} \le T \le T_{\max}$$
$$W_{\min} \le W \le W_{\max}$$
$$P_{\min} \le P \le P_{\max}$$

$$C(0) = C_0 \qquad (5)$$
$$T(0) = T_0$$
$$0 \le l \le L$$
$$C(L) \le C_K$$

$$C_F^* = f(T, P, [C]) \qquad (6)$$
$$C_n^* = f(T, P, [C])$$
$$q = f(T, m)$$

$$\beta = f(\mathrm{Re}_\partial, \mathrm{Pr}_\partial) \qquad (7)$$
$$\alpha = f(\mathrm{Re}, \mathrm{Pr}, Gr)$$
$$\delta = f(P, D)$$

Необходимо найти такие варьируемые параметры (1), что критерий оптимальности (2) достигает своего минимума при выполнение условий (3)-(7).

Система линейных дифференциальных уравнений в частных производных (3) образуют математическую модель взаимосвязанного нестационарного тепло- и массопереноса в локальной области адсорбционного аппарата.

В третьей главе рассматривается методика математического моделирования взаимосвязанных нестационарных полей концентраций и температур в периодическом адсорбционном аппарате. Введены основные понятия математического моделирования, представлены общие принципы моделирования адсорбционного аппарата, рассмотрены процессы, протекающие в объекте математического моделирования, введена система допущений, поставлена задача.

Сущность предлагаемой методики состоит в представлении как стационарных, так и нестационарных полей определяющих параметров технологического оборудования как совокупности полей локальных пространственно-временных областей (Рис.1), моделируемых аналитическими решениями систем линейных дифференциальных уравнений в частных производных с соответствующими условиями однозначности.

В общем случае под элементарной областью понимается область заданных размеров, рассматриваемая в течение заданного интервала

времени и охватывающая как конструкционные элементы аппарата, влияющие на поля определяющих параметров, так и некоторые объемы заполняющих аппарат сред. Полная совокупность элементарных областей составляет весь рабочий объем аппарата за конечный период времени.

В соответствии с системой допущений:

– концентрационные и температурные поля потока инертного носителя одномерны (отсутствует градиент концентрации и температуры по радиусу адсорбционного аппарата);

– нестационарные поля концентрации и температуры в потоке инертного носителя представляются в виде совокупности полей концентраций и температур локальных областей;

– гранулы сорбента имеют однородную структуру и правильную сферическую форму;

– молекулярный перенос в потоке носителя адсорбтива ничтожно мал;

методом конечных интегральных преобразований получены аналитические решения задач (3):

– переноса массы газом (жидкостью), движущейся в режиме идеального вытеснения по каналу образованного поверхностями гранул сорбента;

– переноса тепла газом (жидкостью), движущейся в режиме идеального вытеснения по каналу образованного поверхностями гранул сорбента;

– диффузии для сплошного шара;

– теплопроводности для сплошного шара с распределенным источником тепла;

– одномерной задачи теплопроводности для однослойной бесконечной пластины с произвольным начальным условием и неоднородными граничными условиями.

Их использование позволяет свести расчет взаимосвязанных полей концентраций и температур в элементарной области, включающей как элемент потока инертного носителя, так гранулы сорбента, к решению системы алгебраических уравнений.

В четвертой главе рассмотрены вопросы алгоритмической реализации математической модели взаимосвязанного нестационарного массо- и теплопереноса в процессах адсорбции, приведен алгоритм расчета собственных чисел дифференциальных уравнений диффузии и теплопроводности, представлена методика расчета начальных распределений температур и концентраций, представлен результат аппрок-

симации предельной величины адсорбции и равновесной концентрации в потоке.

Расчет взаимосвязанных нестационарных полей концентраций и температур потока инертного носителя и гранул сорбента может быть основан последовательном расчете концентрационных и температурных полей локальных областей базирующиеся на сопряженном решение системы алгебраических уравнений являющихся решениями дифференциальных уравнений диффузии и теплообмена.

При последовательном расчете концентрационных и температурных полей локальной области входная концентрация и температура последующей локальной области является выходной концентрацией и температурой предыдущей при фиксированном времени. А начальное распределение концентрации и температуры в потоке инертного носителя и гранулах сорбента локальной области текущего момента времени являются полями концентрации и температуры этой же локальной области в предыдущий момент времени.

Блок-схема алгоритма расчета взаимосвязанных нестационарных полей концентраций и температур в адсорбционном аппарате колонного типа с неподвижным слоем сорбента представлена на рис. 2.

На основе данной блок-схемы на алгоритмическом языке Pascal разработана расчетная программа.

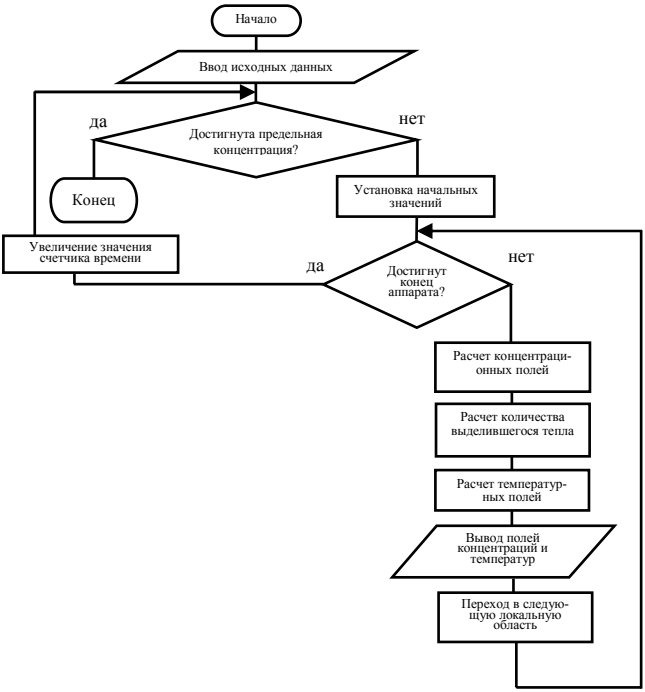


Рис. 2. Блок-схема алгоритма расчета концентрационных и температурных полей в адсорбционном аппарате колонного типа с неподвижным слоем сорбента.

В пятой главе приведены: исходная информация для расчета взаимосвязанных нестационарных полей концентраций и температур в периодическом аппарате колонного типа с неподвижным слоем сорбента, результаты расчета, схема и описание экспериментальной установки, порядок выполнения эксперимента, методика обработки экспериментальных данных и проверка адекватности математической модели путем сравнения значения параметров процесса полученных расчетным и экспериментальным путем.

Результаты сравнения расчетных концентраций и температур на выходе из адсорбционного аппарата с экспериментальными приведены на рис 3, 4 соответственно.

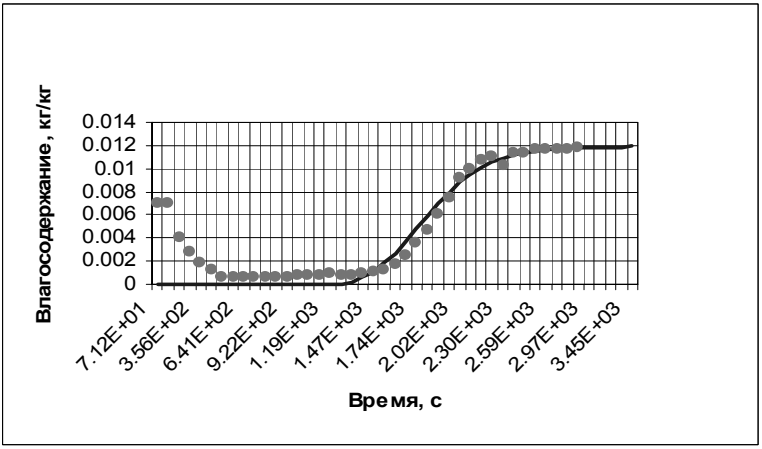


Рис. 3. Сравнение расчетных и экспериментальных значений концентрации на выходе аппарата

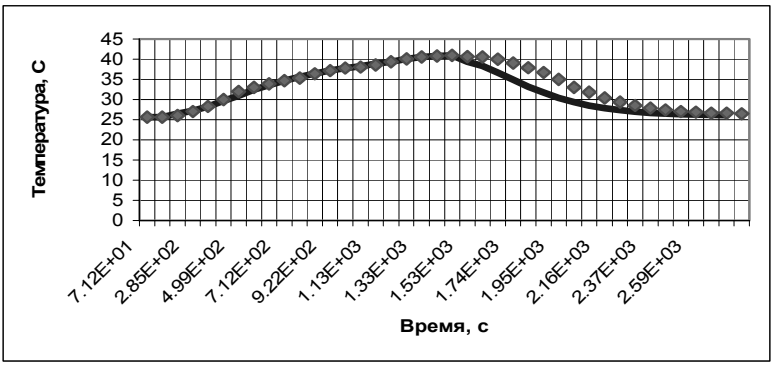


Рис. 4. Сравнение расчетных и экспериментальных значений температуры на выходе из аппарата

В шестой главе приведен пример технологического расчета адсорбционной колоны при переменой начальной концентрации на входе аппарата.

В реальной ситуации концентрация адсорбтива в инертном носителе поступающего на вход адсорбционного аппарата есть не постоян-

ная величина. В соответствии с предыдущими технологическими стадиями и всей технологической системой в целом, концентрацию [кг/кг] на входе в адсорбционный аппарат можно представить как функцию от времени (рис.5).

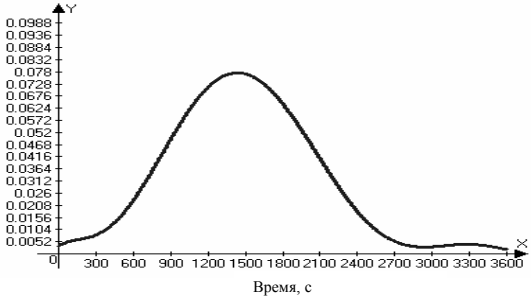


Рис. 5. Начальная концентрация в потоке

Результаты расчета времени защитного действия насыпки сорбента при переменной концентрации адсорбтива в потоке инертного носителя входящего в аппарат представлены на рис. 6.

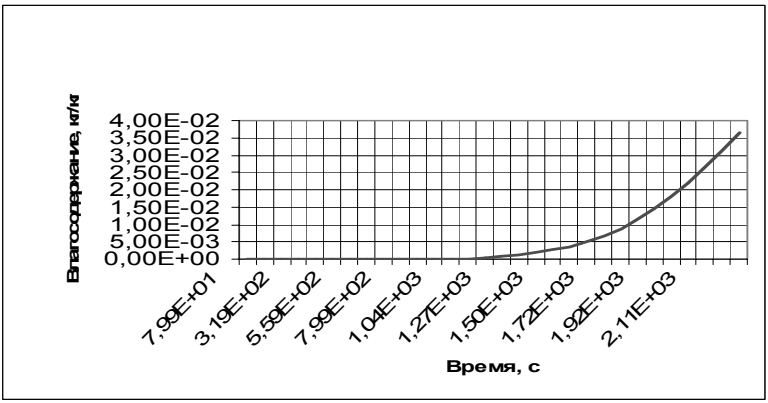


Рис. 6. Концентрация на выходе из аппарата при переменной концентрации на входе

Концентрационное поле в адсорбционном аппарате представлено на рис. 7.

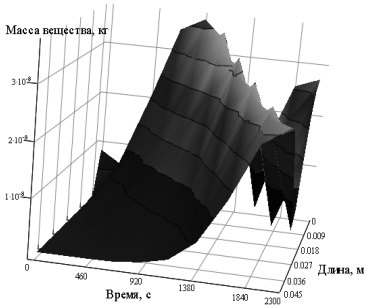


Рис. 7. Концентрационное поле в адсорбционном аппарате

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1 Разработана методика расчета периодических адсорбционных аппаратов колонного типа с не подвижным слоем сорбента, основанная на моделировании взаимосвязанных нестационарных концентрационных и температурных полей локальных областей теплообменного аппарата с использованием аналитических решений задач массо- и теплообмена в потоке инертного носителя и гранулах сорбента.

2 Поставлена задача оптимизации конструктивных и режимных характеристик периодического адсорбционного аппарата колонного типа с неподвижным слоем сорбента.

3 Разработана математическая модель периодического адсорбционного аппарата колонного типа с неподвижным слоем сорбента. В основу математической модели положены линейные дифференциальные уравнения диффузии и теплопроводности параболического типа.

4 Предложена методика решения уравнений математической модели на основе аналитических решений нестационарных задач диффузии и теплопроводности.

5 Разработана программа расчета взаимосвязанных нестационарных концентрационных и температурных полей периодического адсорбционного аппарата колонного типа с неподвижным слоем сорбента.

6 Разработан алгоритм расчета собственных чисел линейных дифференциальных уравнений диффузии и теплопроводности.

7 Разработана программа аппроксимации предельной величины адсорбции и равновесной концентрации в потоке.

8 Проведено экспериментальное исследование с целью проверки адекватности математической модели.

9 Выполнен расчет периодического адсорбционного аппарата колонного типа с неподвижным слоем сорбента при переменной начальной концентрации адсорбтива в потоке.

Основные положения диссертации изложены в следующих работах::

1. *Рухов А. В*. Математическое моделирование процесса адсорбции в аппарате с неподвижным слоем сорбента. / А.В. Рухов, Е.Н. Туголуков // Сборник статей магистрантов по материалам научной конференции 15 – 17 февраля 2005 года. – Тамбов: ТОГУП «Тамбовполиграфиздат», 2005. – Вып.1. Ч.1. – С 43-46.

2. *Рухов А. В*. Изучение адсорбентов методами сканирующей зондовой микроскопии. / А.В. Рухов. // Сборник статей магистрантов. – Тамбов: ТОГУП «Тамбовполиграфиздат», 2005. – Вып.2. –С 22-26.

3. *Рухов А. В*. Использование адсорбции для задач хранения. / А.В. Рухов. // Сборник статей магистрантов. – Тамбов: ТОГУП «Тамбовполиграфиздат», 2006. – Вып.5. –С 43-44.

4. *Рухов А. В*. Алгоритм расчета собственных чисел задач нестационарной теплопроводности и диффузии. / А.В. Рухов. // Сборник статей магистрантов. – Тамбов: ТОГУП «Тамбовполиграфиздат», 2006. – Вып.5. –С 44-49.

5. *Рухов А. В*. Аппроксимация предельной величины адсорбции и равновесной концентрации в потоке инертного носителя адсорбтива / А.В. Рухов. // Сборник статей магистрантов. – Тамбов: ТОГУП «Тамбовполиграфиздат», 2006. – Вып.6. –С 42-44.

6. *Рухов А. В*. Алгоритм расчета взаимосвязанного нестационарного тепло и массопереноса в процессе адсорбции / А.В. Рухов. // Сборник статей магистрантов. – Тамбов: ТОГУП «Тамбовполиграфиздат», 2006. – Вып.6. –С 44-47.

На правах рукописи

Распутин Алексей Олегович

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОЖУХОТРУБЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ

Направление 150400. Технологические машины и оборудование
Магистерская программа 150400.19 –
Информационные системы технологических машин

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание степени
магистра техники и технологии

Тамбов 2006

Работа выполнена на кафедре «Автоматизированное проектирование технологического оборудования» Тамбовского государственного технического университета

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ:
кандидат технических наук,
доцент **Мокрозуб Владимир Григорьевич**

Защита диссертации состоится «_21» июня 2006 г. в ___ ч. ___ мин. на заседании государственной аттестационной комиссии Тамбовского государственного технического университета по адресу:
392000, г. Тамбов, ул. Ленинградская, 1, каф. АПТО, ауд. 117.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат подготовлен «_» июня 2006 г.

Секретарь государственной
аттестационной комиссии **Н. В. Нагайцева**

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Существует много типов теплообменников, из которых наиболее распространены кожухотрубчатые.

Проектирование теплообменника это трудоемкий процесс, занимающий много времени. С другой стороны, этот процесс имеет много этапов, выполнение которых может быть максимально автоматизировано, включая и разработку конструкторской и технологической документации. Поэтому возможно упростить труд конструктора, переложив часть работы на компьютер.

В настоящее время существует много специализированных программ, предназначенных для выполнения расчетов теплообменников, но не найдено ни одной, позволяющей получать готовую конструкторскую и технологическую документацию, необходимую для изготовления теплообменника.

Разработка элементов системы автоматизированного проектирования кожухотрубчатых теплообменников рассматривается в настоящей работе.

Цель работы.

1. Разработать структуру системы автоматизированного проектирования.

2. Разработать элементы информационной системы автоматизированного проектирования кожухотрубчатых теплообменников:

а) Разработать информационно-логические модели отдельных деталей и сборочных единиц кожухотрубчатого теплообменника.

б) Разработать библиотеку параметрических 3D моделей деталей теплообменника.

с) Разработать базу данных стандартных размеров элементов кожухотрубчатого теплообменника.

Научная новизна. Создана информационно-логическая модель кожухотрубчатого теплообменника, которая позволяет выбрать отдельные элементы аппарата, определить их размеры, а также определить положение элементов друг относительно друга в процессе создания сборочных чертежей.

Практическая ценность. Разработана библиотека параметрических 3D моделей деталей. Создана база данных типовых размеров элементов кожухотрубчатого теплообменника Создана информационно-логическая модель, которая является основой методического обеспечения, автоматизированной системы проектирования кожухотрубчатых теплообменников. Для виртуального зала курсового и дипломного проектирования кафедры создан раздел теплообменного оборудова-

ния, расположенный по адресу: www.170514.tstu.ru/kdp.html «Кабинет конструирования химического оборудования».

Публикации. Распутин А.О., Мокрозуб В.Г. Принципы построения информационной системы проектирования кожухотрубчатых теплообменников // Современные проблемы науки глазами будущих ученых. Сборник статей магистрантов. Выпуск III. – Тамбов: ТОГУП «Тамбовполиграфиздат», 2005. – С. 14-15.

Распутин А.О., Мокрозуб В.Г. Функциональная модель информационной системы проектирования кожухотрубчатых теплообменников // Современные проблемы науки глазами будущих ученых. Сборник статей магистрантов. Выпуск V. – Тамбов: ТОГУП «Тамбовполиграфиздат», 2006. – С. 49-52.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав и заключения, включающих __ страниц машинописного текста, __ рисунков и __ таблиц, а также списка использованных источников литературы, содержащего __ наименований и __ приложений.

СОДЕРЖАНИЕ МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении приведено обоснование актуальности темы диссертационной работы, сформулированы задачи исследования.

В первой главе рассмотрены вопросы связанные с понятием систем автоматизированного проектирования, классификацией САПР, проведен обзор существующих САПР. Также здесь описаны процессы теплообмена и аппараты для их реализации.

Во второй главе приводится описание элементов кожухотрубчатых теплообменников, их типы, назначение и методы расчета. Также здесь приводятся информация о выборе тех или иных типов элементов, о выборе типа соединения отдельных частей аппарата между собой.

В третьей главе приводится структура информационной системы автоматизированного проектирования кожухотрубчатых теплообменников. Структура разработана по методологии IDEF0 (рисунок 1, 2, 3).

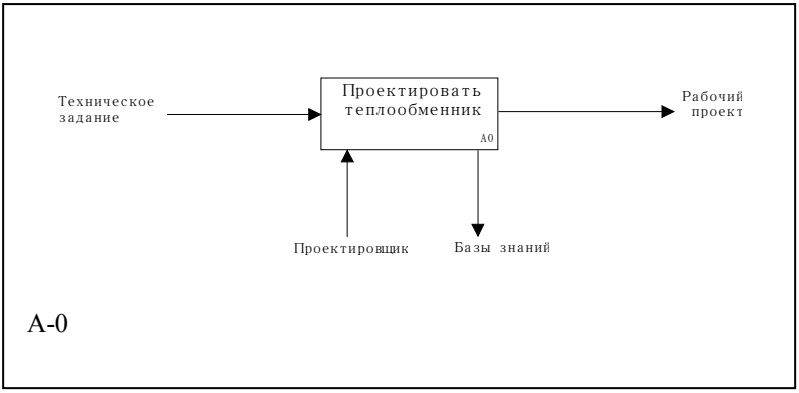


Рис. 1. Контекстная диаграмма А-0 функциональной модели информационной системы проектирования кожухотрубчатых теплообменников

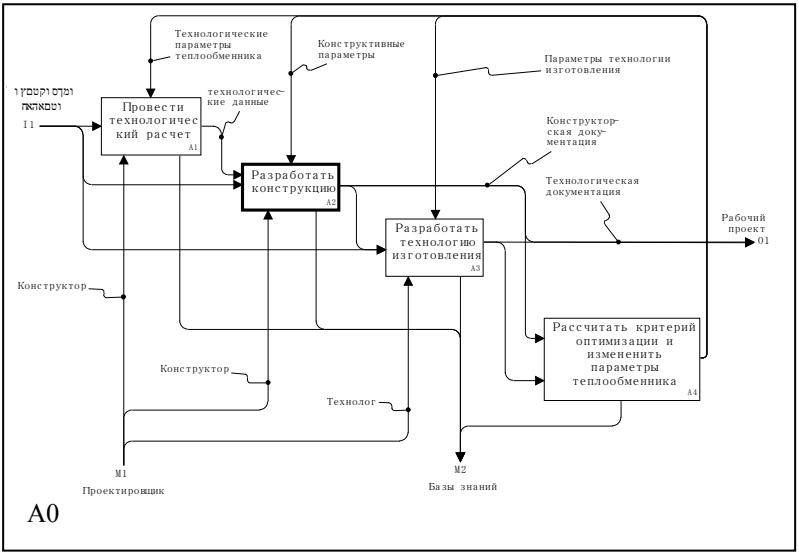


Рис. 2. Контекстная диаграмма А0 функциональной модели информационной системы проектирования кожухотрубчатых теплообменников

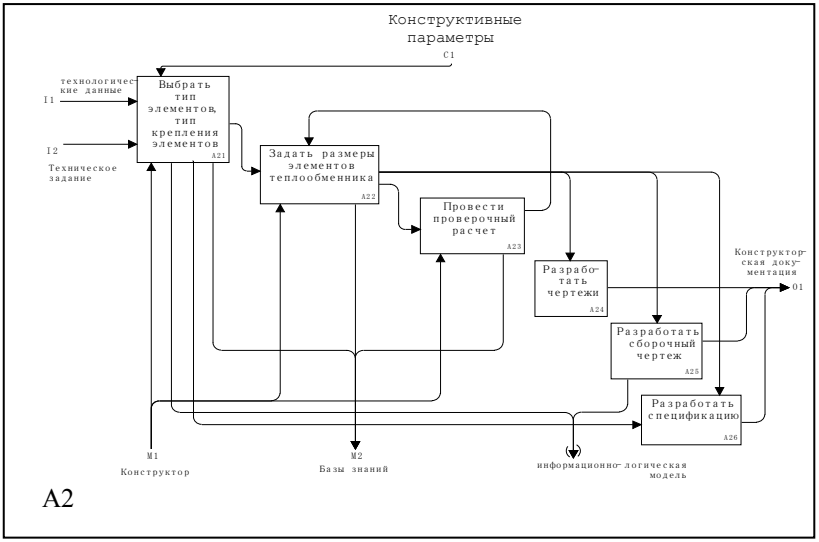


Рис. 3. Контекстная диаграмма А2 функциональной модели информационной системы проектирования кожухотрубчатых теплообменников

В четвертой главе приводится описание разработанной информационно-логической модели кожухотрубчатого теплообменника (ИЛМ). ИЛМ включает в себя следующие составляющие: реестр элементов, реестр признаков отдельных элементов; набор правил, связывающий значения признаков одних элементов, с значениями признаков других элементов; набор условий позволяющих позиционировать детали в пространстве.

Рассмотрим составляющие инфологической модели:

Реестр элементов:

e_1 – кожух
e_2 – днище
e_3 – трубная решетка
e_4 – труба
e_5 – перегородка
e_6 – компенсатор
e_7 – устройства ввода\вывода
e_8 – фланцы
e_9 – отбойник
e_{10} – опоры
e_{11} – устройства для строповки

e_{12} – прокладка фланцевого соединения
e_{13} – стяжка
e_{14} – болт
e_{15} – гайка

Реестр признаков отдельных элементов (на примере кожуха):
$e_1.p_1$ – наружный диаметр кожуха
$e_1.p_2$ – внутренний диаметр кожуха
$e_1.p_3$ – высота кожуха
$e_1.p_4$ – толщина стенки кожуха
$e_1.p_5$ – материал кожуха
$e_1.p_6$ – радиус отверстия для крепления штуцера ввода
$e_1.p_7$ – радиус отверстия для крепления штуцера вывода
$e_1.p_8$ – положение отверстия штуцера ввода (осевое)
$e_1.p_9$ – положение отверстия штуцера вывода (осевое)
$e_1.p_{10}$ – положение отверстия штуцера ввода (радиальное)
$e_1.p_{11}$ – положение отверстия штуцера вывода (радиальное)
$e_1.p_{12}$ – расстояние между отверстиями под штуцера

Правила выбора типа элементов:

Тип крепления трубной решетке ($e_3.p_1$):

Правило 1:

Если материал аппарата = медь $\vee$ материал аппарата = латунь, то $e_3.p_1$ = тип V $\vee$ $e_3.p_1$ = тип VI

Правило 2:

Если тип соединение крышки и решетки = неразъемное $\wedge$ соединение решетки и кожуха = неразъемное, то $e_3.p_1$ = тип I $\vee$ $e_3.p_1$ = тип II $\vee$ $e_3.p_1$ = тип III $\vee$ $e_3.p_1$ = тип XII;

Правило 3:

Если соединение крышки и решетки = отъемное $\wedge$ соединение решетки и кожуха = неразъемное, то $e_3.p_1$ = тип IV $\vee$ $e_3.p_1$ = тип V $\vee$ $e_3.p_1$ = тип VI $\vee$ $e_3.p_1$ = тип VIII $\vee$ $e_3.p_1$ = тип IX $\vee$ $e_3.p_1$ = тип X;

Правило 4:

Если соединение крышки и решетки = отъемное $\wedge$ соединение решетки и кожуха = отъемное, то $e_3.p_1$ = тип VII $\vee$ $e_3.p_1$ = тип XI;

Тип расположения труб в трубной решетке ($e_3.p_{21}$):

Правило 1:

Если тип теплообменника Н $\vee$ тип теплообменника К, то $e_3.p_{21}$ = по вершинам равносторонних треугольников;

Правило 2:

Если тип теплообменника П $\vee$ тип теплообменника У $\vee$ тип теплообменника ПК, то $e_3.p_{21}$ = по вершинам квадратов $\vee$ $e_3.p_{21}$ = по вершинам равносторонних треугольников;

Правило 3:

Если тип среды в межтрубном пространстве = газ, то $e_3.p_{21}$ = по окружностям;

Правило 4:

Если требуется механическая чистка межтрубного пространства, то $e_3.p_{21}$ = по вершинам квадратов;

<u>Тип крепления труб в трубной решетке ($e_3.p_8$):</u>

Правило 1:

Если материал теплообменника = медь и ее сплавы, то то $e_3.p_8$ = пайка;

Правило 2:

Если предусматривается дальнейшая замена труб $\vee$ давление среды в аппарате $\leq$ 0.6 МПа, то $e_3.p_8$ = развальцовка в гладких отверстиях с отбортовкой;

Правило 3:

Если предусматривается дальнейшая замена труб $\vee$ давление среды в аппарате > 0.6 МПа, то $e_3.p_8$ = развальцовка с канавкой;

Правило 4:

Если не предусматривается замена труб, то $e_3.p_8$ = сварка $\vee$ то $e_3.p_8$ = развальцовка со сваркой;

<u>Тип фланцев и тип уплотнительной поверхности ($e_8.p_1$ и $e_8.p_2$)</u>:

Правило 1:

Если $p \leq 2{,}5$ МПа $\wedge$ ($-40\ ^oC \leq t \leq 300\ ^oC$) – то $e_8.p_1$ (тип соединения) = плоский приварной

Правило 2:

Если $p \geq 2{,}5$ МПа $\vee$ $t < -40\ ^oC \vee t > 300\ ^oC$ – то $e_8.p_1$ = приварной встык.

Правило 3:

если $p \leq 2{,}5$ МПа $\wedge$ $t \leq 540\ ^0C$, то $e_8.p_2$ (уплотнительная поверхность) = плоская;

Правило 4:

если $p \leq 0{,}6$МПа $\wedge$ (агрессивная $\vee$ токсичная $\vee$ взрывопожароопасная среда) $\wedge$ $t \leq 540\ ^0C$), то $e_8.p_2$ = выступ-впадина;

Правило 5:

если (1,0МПа $\leq$ p $\leq$ 20 МПа) $\wedge$ t $\leq$ 540 ^{0}C $\wedge$ (агрессивная $\vee$ токсичная $\vee$ взрывопожароопасная среда), то $e_8.p_2$ = шип-паз;

Модель позиционирования элементов.

Принятые обозначения:

Os – ось

Gr – грань

Pv – поверхность

Kr – кромка

= – равенство

$\odot$ – соосность

$\in$ – принадлежность

// – параллельность

$\perp$ – перпендикулярность

Условия сопряжения кожуха и фланцев (рисунок 4):

e1.Os1 $\odot$ e8.Os1

e1.Gr1$\in$e8.Gr2

e1.p2=e8.p6

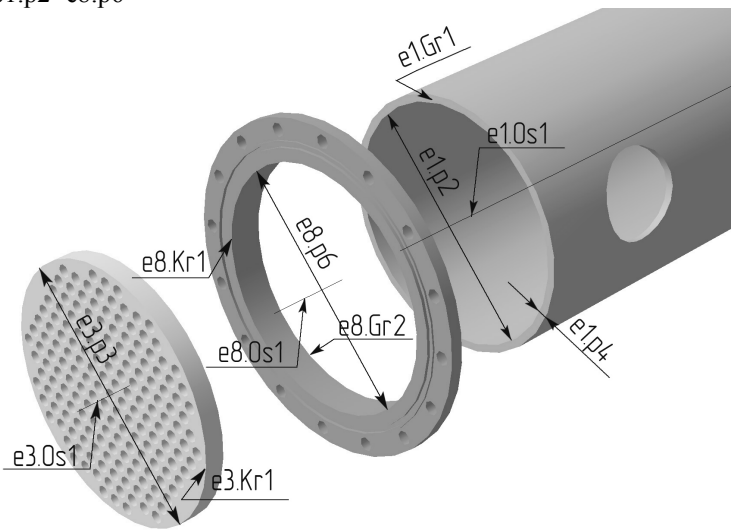


Рис. 4. Сопряжение кожуха, фланцев и трубной решетки

Условия сопряжения трубной решетки с корпусом (рисунок 4):

e3.Os1$\odot$e8.Os1

e8.Kr1∈e3.Kr1
e8.p6=e3.p3
Условия сопряжения частей кожуха и компенсатора (рисунок 6):
e1_1.Os1⊙e6_1.Os⊙ e6_2.Os⊙ e1_2.Os1
e1_1.Gr3∈e6_1.Gr1
e1_2.Gr3∈e6_2.Gr1
e6_1.Gr2∈e6_2.Gr2
e1_1.p1=e6_1.p2= e6_2.p2=e1_2.p1
e6_1.p4=e6_2.p4
e6_1.p3=e6_2.p3

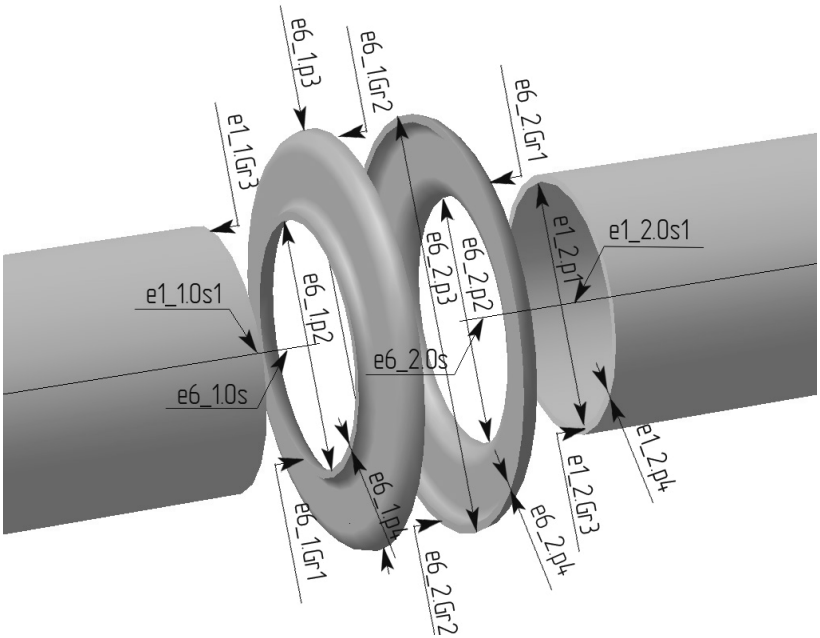


Рис. 6. Сопряжение кожуха и компенсатора

Условия сопряжения днищ и фланцев, днищ и штуцеров (рисунок 7): e2.Os⊙e7.Os⊙e8.Os1⊙e8_sht.Os1
e7.Kr1∈e2.Kr1
e2.Gr1∈e8.Gr2
e7.Gr1∈e8_sht.Gr1
e7.p1=e8_sht.p1
e2.p4=e7.p1+2* e7.p4
e2.p2=e8.p6

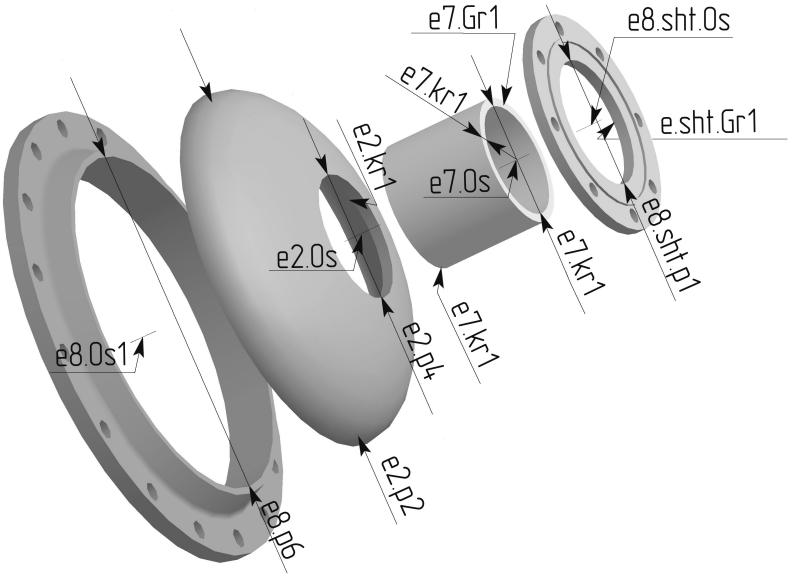


Рис. 7. Сопряжение фланца, днища и штуцера

Условия сопряжения фланцевых соединений кожуха и днища (рисунок 8):

e8._kogOs1⊙e12.Os⊙e8_dn.Os1

e8_kog.Gr1∈e12.Gr2

e8_dn.Gr1∈e12.Gr1

e14.Gr1∈e8_dn.Gr3

e15.Gr1∈e8_kog.Gr3

e8_dn.p6= e8_kog.p6

e8_kog.Os2⊙e8_dn.Os2⊙e14.Os⊙ e15.Os

e8_dn.p7= e8_kog.p7

e8_dn.p8= e8_kog.p8

e8_dn.p9= e8_kog.p9

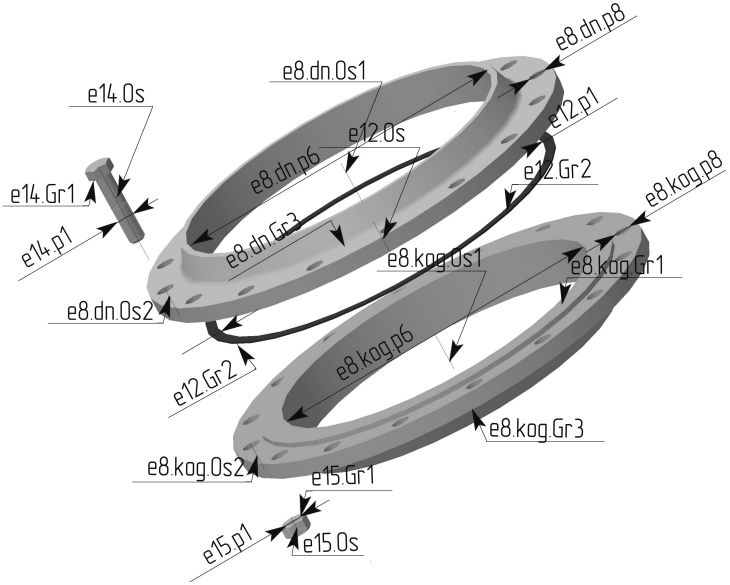


Рис. 8. Сопряжение фланцевого соединения

Условия сопряжения трубной решетки и трубок (рисунок 9):

e3.Os2⊙e4.Os

e4.Kr∈e3.Kr2

e3.p4= e3.p4=e4.p2+Δ1

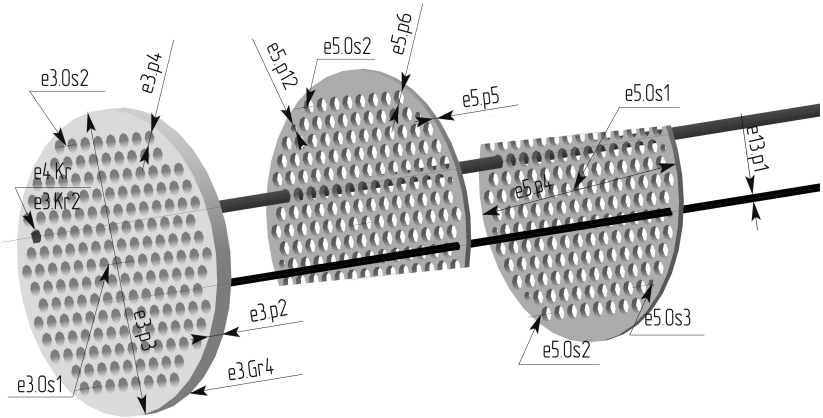


Рис. 9. Сопряжение трубного пучка, перегородок, стяжек и кожуха

Условия сопряжения трубного пучка, перегородок, стяжек и кожуха (рисунок 9):

e5.Os1⊙e1.Os1

e5.Os2⊙e4.Os

e5.Os3⊙e13.Os

e13.Gr ∈e3.Gr4

e5.p4=e1.p2 – Δ2

e5.p6=e4.p2 + Δ3

e5.p12=e13.p1+Δ4

Условия сопряжения седловой опоры и кожуха (рисунок 10):

e1.Os1⊙e10_1.Os1⊙e10_2.Os2

e1.Pov1∈e10_2.Pov1

e10_2.Pov2∈e10_1.Pov

e10_2.Pov2∈e10_3.Pov

e10_2.Pov2∈e10_4.Pov

e10_1.Gr1∈e10_3.Gr1

e10_1.Gr1∈e10_4.Gr1

e10_1.Gr2∈e10_3.Gr2

e10_1.Gr2∈e10_4.Gr2

e10_2.p1=e10_1.p3-e10.p2= e1.p1/2

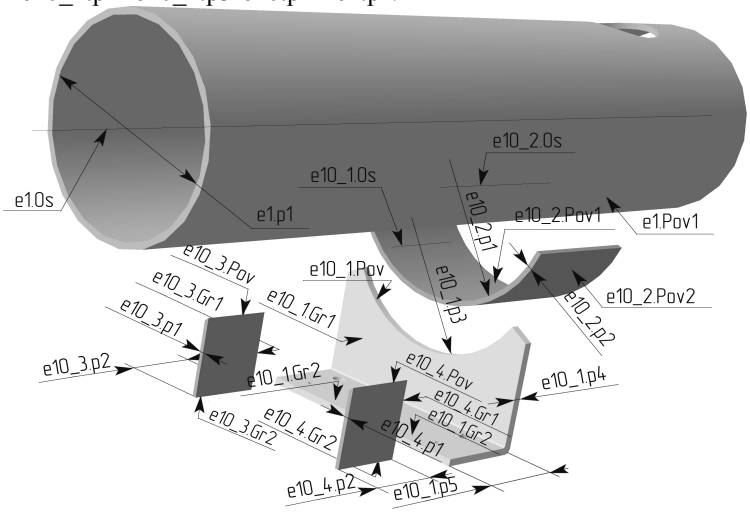


Рис. 10. Сопряжение седловой опоры и кожуха

В пятой главе содержится описание информационного обеспечения разрабатываемой системы. Оно включает:

- описание созданной базы данных 3D моделей деталей кожухотрубчатого теплообменника. Модели выполнены в системе КОМПАС - 3D V6. Приводятся ссылки на файлы моделей, а также описание каждой модели с рассмотрением параметрических размеров и связей.

- описание разработанной базы данных стандартных размеров элементов кожухотрубчатого теплообменника.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Разработана структура системы автоматизированного проектирования кожухотрубчатых теплобменников

2. Разработана информационно-логическия модель кожухотрубчатого теплообменника.

3. Разработана библиотека параметрических 3D моделей деталей кожухотрубчатого теплообменника.

4. Разработана база данных стандартных размеров элементов кожухотрубчатого теплообменника

5. Разработаны для виртуального зала курсового и дипломного проектирования следующие типовые элементы: эллиптические днища, кожух, трубная решетка, сегментные перегородки, фланцы для аппаратов, трубки, отбойник, опоры для цилиндрических вертикальных аппаратов адрес http://www.170514.tstu.ru/kdp.html в разделе «Кабинет конструирования химического оборудования».

6. По теме диссертации опубликованы 2 научные работы.

Материал диссертации представлен публикациями:

1. *Распутин А.О., Мокрозуб В.Г.* Принципы построения информационной системы проектирования кожухотрубчатых теплообменников // Современные проблемы науки глазами будущих ученых. Сборник статей магистрантов. Выпуск III. – Тамбов: ТОГУП «Тамбовполиграфиздат», 2005. – С. 14-15.

2. *Распутин А.О., Мокрозуб В.Г.* Функциональная модель информационной системы проектирования кожухотрубчатых теплообменников // Современные проблемы науки глазами будущих ученых. Сборник статей магистрантов. Выпуск V. – Тамбов: ТОГУП «Тамбовполиграфиздат», 2006. – С. 49-52.

На правах рукописи

Шершукова Анастасия Игоревна

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗЕРНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Направление 150400. Технологические машины и оборудование
Магистерская программа 150400.22 –
Машины и агрегаты пищевой промышленности

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание степени
магистра техники и технологии

Тамбов 2006

Работа выполнена на кафедре «Технологического оборудования и пищевых технологий» Тамбовского государственного технического университета

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ:
доктор технических наук,
профессор **Першин Владимир Федорович**

РЕЦЕНЗЕНТ
кандидат технических наук,
профессор **Ткачев Алексей Григорьевич**

ВЕДУЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ: Технологический институт ТГТУ

Защита диссертации состоится «20» июня 2006 г. в 10.00 часов на заседании государственной аттестационной комиссии Тамбовского государственного технического университета по адресу:
392020, Тамбов, ул. Ленинградская, д. 1, ауд. 119

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат подготовлен «1» июня 2006 г.

Секретарь государственной
аттестационной комиссии **Н.В. Нагайцева**

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Интенсивность и эффективность переработки зернистых материалов практически всегда зависит от характера их движения.

При моделировании движения зернистых материалов в различных силовых полях используют коэффициенты трения этих материалов.

В настоящее время существует несколько подходов к определению коэффициентов трения, в частности определяют углы естественного откоса и обрушения, коэффициенты внешнего и внутреннего трения, углы трения движения и покоя. В литературе отсутствуют сведения о взаимосвязи указанных характеристик. Это затрудняет сравнение экспериментальных результатов различных исследователей, а также использование известных зависимостей для расчета основных режимных и геометрических параметров оборудования по переработке зернистых материалов. Учитывая вышесказанное, определение углов и коэффициентов трения для одних и тех же материалах на различных приборах и анализ полученных результатов с целью выявления наиболее стабильных характеристик представляется актуальным.

Цель диссертационной работы: экспериментальные исследования физико-механических свойств зернистых материалов.

Для достижения цели диссертации были поставлены следующие **задачи**:

- разработать методику и приборное оформление для определения углов естественного откоса и обрушения, трения движения и покоя с минимальным участием человека в процедурах подготовки зернистого материала к испытаниям и определения численных значений указанных углов;
- для одних и тех же материалов на разных приборах определить углы естественного откоса и обрушения, трения движения и покоя;
- проанализировать полученные результаты с целью нахождения численных зависимостей между указанными характеристиками.

Объектом исследования являются 9 пищевых зернистых материалов, катализатор для производства наноструктурированных углеродных материалов и нановолокна.

Предметом исследования является углы и коэффициенты трения зернистых материалов.

Личный вклад автора. Разработана методика и приборное оформление для определения углов естественного откоса и обрушения, трения движения и покоя с использованием компьютерной программы, определяющей численные значения указанных параметров без участия

исследователя. Выполнен комплекс экспериментальных исследований указанных характеристик и анализ полученных результатов.

Научная новизна.

Определены углы естественного откоса, обрушения, трения движения и покоя для одних и тех же материалов (11 зернистых материалов), проведен анализ полученных результатов и намечены пути совершенствования методик и приборного оформления для определения указанных характеристик.

Практическая значимость диссертации.

Разработаны и изготовлены приборы, а также создана компьютерная программа, с помощью которых экспериментально определены углы и коэффициенты трения покоя и движения для целого ряда зернистых материалов, включая нановолокна, что необходимо для расчета оборудования по переработке этих материалов (бункера, питателя, дозатора, сушилки, классификатора и т.д.).

Реализация работы. Разработанная методика и приборы используются при проведении лабораторных работ в курсе «Механика» на кафедре «Прикладная механика и сопротивление материалов»

Апробация работы. Результаты работы обсуждались на научно-практической Интернет-конференции «Современные направления теоретических и прикладных исследований».

Публикации. Результаты диссертационной работы легли в основу трех публикаций в сборниках научных статей и одного научного доклада.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, выводов, списка использованных источников, включающего 41 источник, и приложений. Работа изложена на 69 стр., содержит 39 рисунков и 4 таблицы.

СОДЕРЖАНИЕ МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность цели диссертационной работы, проанализированы основные проблемы исследования и дано краткое описание работы.

Первая глава посвящена рассмотрению основных физико-механических характеристик зернистых материалов, приведены описания некоторых экспериментальных установок и методик определения углов и коэффициентов трения. Подчеркивается, что в научной и технической литературе практически отсутствует информация о взаимосвязях между различными углами и коэффициентами трения, что затрудняет сравнение результатов экспериментов, полученных разными исследователями.

Завершается первая глава постановкой задач исследования.

Во второй главе описаны лабораторные установки, на которых проводились испытания, приведены методики получения и обработки экспериментальных данных.

В завершении второй главы проанализированы результаты экспериментов и намечены перспективы дальнейших исследований.

Третья глава посвящена разработке математической модели процесса движения зернистого материала по наклонному вибрирующему лотку.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

В результате проведенной работы было выполнено следующее:

1. Разработана методика и приборное оформление для определения углов естественного откоса и обрушения, трения движения и покоя с минимальным участием человека в процедурах подготовки зернистого материала к испытаниям и определения численных значений указанных углов.

2. Для одних и тех же материалов на разных приборах были определены углы естественного откоса и обрушения, трения движения и покоя.

3. Анализ результатов экспериментов показал, что для большинства исследуемых материалов более стабильные значения наблюдались для углов трения движения и покоя, углы трения движения по численным значениям близки к углам естественного откоса, а трения покоя – к углам обрушения. В тоже время для некоторых материалов практически отсутствует разница между углами естественного откоса и обрушения (например, манная крупа).

Разница между углами трения движения и покоя для всех материалов достаточно существенна (не менее 10 градусов). Учитывая это, при проектировании оборудования в расчетах целесообразно использовать именно эти углы.

Более перспективным для дальнейшего совершенствования следует считать методику и устройства для определения углов трения движения и покоя. Для нахождения численных зависимостей между углами естественного откоса, обрушения, движения и покоя необходимо провести дополнительные экспериментальные исследования на более широком круге материалов (порядка 25-30).

Материал диссертации представлен публикациями:

1. *Ковынев А.А., Шершукова А.И., Першина С.В.* Совершенствование методов определения механических характеристик зернистых материалов. Труды ТГТУ: Сборник научных статей молодых ученых и студентов. Тамб. гос. техн. ун-т. Тамбов, 2005. вып.17. 216с.

2. Осипов А.А., Шершукова А.И. Приготовление многокомпонентных смесей на основе технологии двухстадийного дозирования. Труды ТГТУ: Сборник научных статей молодых ученых и студентов. Тамб. гос. техн. ун-т. Тамбов, 2004. вып.15. 280с.

3. *Шершукова А.И.* Анализ способов и устройств для определения физико-механических характеристик зернистых материалов. Современные проблемы науки глазами будущих ученых. Сборник статей магистрантов. Выпуск 3. – Тамбов: ТОГУП «Тамбовполиграфиздат», 2005. – 120с.

4. *Шершукова А.И., Першина С.В., Першин В.Ф.* Определение коэффициентов трения зернистых материалов. Сборник научных трудов по материалам научно-практической конференции «Современные направления теоретических и прикладных исследований». Том 2. Технические науки. – Одесса: Черноморье, 2006.- 39-42с.

На правах рукописи

Румянцев Александр Викторович

ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ ОТХОДАМИ ПОЛИМЕРНОЙ ТАРЫ И УПАКОВКИ

Специальность 150400.26 – Технологические машины и оборудование комплексной химической переработки растительных полимеров

АВТОРЕФЕРАТ
магистерской диссертации

Тамбов 2006

Работа выполнена в Тамбовском государственном техническом университете на кафедре «Переработка полимеров и упаковочное производство»

Научный руководитель: д.т.н., профессор Беляев П. С.

Рецензент: к.т.н., профессор Коптев А. А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Особую значимость для повышения темпов строительства автомобильных дорог и снижения затрат на него приобретает комплексное применение местных материалов и отходов промышленности в производстве конструкций дорожных одежд. Но местные материалы, отвечающие требованиям ГОСТ не всегда обеспечивают хороших эксплуатационных характеристик дорог. Одним из путей повышения качества дорожного полотна является модификация асфальтобетонной смеси материалами, улучшающими её эксплуатационные характеристики. Одним из распространенных направлений в этой области является модификация битума полимерной тарой и упаковкой.

На кафедре «Переработка полимеров и упаковочное производство» разработана технология, позволяющая получать полимербитумное вяжущие.

Цель работы. Целью данной диссертации является изучения свойств асфальтобетонов на основе полимербитумного вяжущего. Сравнение экспериментальных данных асфальтобетона на обычном битуме БНД 60/90 с экспериментальными данными асфальтобетона на модифицированном полиэтиленом битуме. Определение оптимальной рецептуры асфальтобетона на основе полимербитумного вяжущего.

Научная новизна работы. Проведены исследования эксплуатационных свойств асфальтобетона на основе полимербитумного вяжущего полученного на турбинном смесителе.

Практическая ценность. Предложена рецептура на основе доменных шлаков Новолипецкого металлургического комбината с применением полимербитумного вяжущего. Рецептура позволяет экономить расход битума и улучшить эксплуатационные показатели асфальтобетона. Получены графические зависимости физико-механических показателей асфальтобетона от количества вяжущего в смеси, при различных физико-механических показателях самого вяжущего.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы представлены в материалах научных трудов в X научной конференции «Изучение свойств асфальтобетонов приготовленных на основе полимербитумного вяжущего» (Тамбов, 2005 г.), в сборнике статей магистрантов: Выпуск I «Изучение свойств асфальтобетоновых смесей приготовленных на основе дорожных битумов, модифицированных полимервой крошкой» (Тамбов, 2005 г.), в сборнике статей магистрантов: Выпуск 3 «Модификация асфальтовых покрытий отходами полимерной тары и упаковки».

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 5 работ.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, выводов, списка использованных источников из 17 наименований. Содержит 101 страниц основного текста, 27 рисунков, 14 таблиц, 5 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дано краткое содержание работы и показана актуальность решаемых в ней задач.

В первой главе проведен анализ работ отечественных и зарубежных предприятий по применению полимерных отходов в качестве модификатора нефтяного дорожного битума.

Подробно рассмотрены особенности структуры и свойств битумов, модифицированных полимерами.

Для асфальтобетона, как термопластичного материала, различают два вида потери прочности: в упругой стадии, приводящей к разрушению покрытия; в пластической стадии, приводящей к возникновению деформаций, нарушающих нормальную эксплуатацию конструкции. Особенностью разрушения асфальтобетона по сравнению с цементобетоном и другими подобными материалами является резко выраженная зависимость прочности от времени действия нагрузки и температуры.

Разрушение асфальтобетона под действием приложенного напряжения представляет собой развивающийся во времени процесс.

Чем больше величина действующих напряжений, тем быстрее разрушается асфальтобетон.

Если напряжение, возникающее от транспортных средств, значительно меньше, чем предел прочности асфальтобетона, то оно не оказывает существенного влияния на долговечность покрытия. Доуплотнение покрытия при движении транспортных средств улучшает его свойства, мелкие трещины закатываются.

Под воздействием транспортных нагрузок и агрессивных природных факторов на асфальтобетонном покрытии возникают различные виды деформаций и разрушений, которые снижают сроки службы покрытий и приводят к дорожно-транспортным происшествиям. Движение по деформированным покрытиям сопровождается ударами и вертикальными колебаниями колес, кузова и других частей автомобиля. Механизмы автомобиля изнашиваются, водители и пассажиры испытывают неудобства. Средняя скорость движения автомобилей нередко уменьшается до 50%, что снижает производительность и повышает себестоимость перевозок. В таких условиях приобрела большое значение проблема повышение надежности асфальтобетонных покрытий. Решить эту задачу

можно используя новые научные разработки, новые технологии, оборудование, улучшающие качество исходных дорожно-строительных материалов. В России от общего числа твердых отходов, к которым относятся и пластики, 90 % находятся на свалках, каждая из которых размещается на площади 6-50 га. Общая площадь территории, занятой «официальными» свалками, — свыше 20 тыс. га.

Повторное использование - это основной путь использования отходов пластмасс.

Кроме того, ликвидация свалок, на которых содержится большое количество полимерных материалов позволит освободить для использования по назначению значительные площади занимаемых ими земель.

Полиэтилен является прекрасным модификатором битума:

- он не теряет своих свойств при рабочей температуре битума 150-160^{0}С;
- улучшает адгезионые свойства битума;
- повышает сдвигоустойчивость асфальтобетона при высоких температурах;
- повышает предел прочности при 50^0.
- благодаря лучшей прилипаемости, модифицированный полиэтиленом битум, позволяет экономить расход битума на 2-4 %.

Первая глава завершается Применение битумо – каучуковых вяжущих в Тамбовской области.

Вторая глава посвящается рассмотрению вопроса о применении отходов сталеплавильного производства в дорожном строительстве.

Развитие сети автомобильных дорог с твердым покрытием во многих областях России, и в частности в Центральном Черноземье, сдерживается дефицитом кондиционных каменных материалов. В период перехода к рыночным отношениям, когда увеличиваются транспортные расходы и сокращается использование для дорожного строительства привозимых из других регионов материалов, особую значимость для повышения темпов строительства автомобильных дорог и снижения затрат на него приобретает комплексное применение местных материалов и отходов промышленности в производстве конструкций дорожных одежд.

Распространенным отходом промышленности являются корольки и обрезки шлаков. Измельченные до тонкости, определяемой стандартом, такие отходы можно применять в качестве минерального порошка для асфальтобетона. При определенной концентрации минерального порошка резко уменьшается толщина битумного слоя на поверхности его частиц, что приводит к высокой степени структурирования битума, а, следовательно, к упрочнению контактов между зернами. Структурирующие добавки в

составе асфальтобетона существенно улучшают эксплуатационные его свойства, а именно:

- упрочняют структурированную дисперсную систему битума;
- повышают плотность и снижают водопроницаемость;
- уменьшают старение битума в асфальтовом бетоне;
- повышают водо- и морозоустойчивость.

В главе подробно рассмотрен опыт применения шлаковых отходов в качестве дорожно-строительных материалов. Рассмотрены основные эксплуатационные характеристики дорог построенных на основе этих материалов.

В третей главе описана постановка задачи исследования, которая состоит в изучении свойств асфальтобетона на основе полимербитума, сравнении результатов со свойствами асфальтобетона на основе обычного нефтяного битума.

В четвертой главе приведены методики проведения экспериментов и определения физико-механических характеристик асфальтобетона и всех исходных материалов входящих в его состав.

Лабораторные исследования дорожно-строительных материалов проводились с целью получить заключение о возможности применения этих материалов при проектировке асфальтобетонной смеси.

Испытания асфальтобетонных образцов приготовленных на основе битума и полимербитумного вяжущего проводились для сравнения влияния свойств вяжущего на физико-механические свойства асфальтобетона.

Испытания асфальтобетона проводились в соответствии с методикой ГОСТ 12801-98. Испытания включали в себя:

- определение предела прочности на сжатие при 20^0С
- определение предела прочности на сжатие при 50^0С
- определение водонасыщения
- определение трещиностойкости
- определение морозостойкости

Пятая глава посвящена анализу полученных результатов.

Проанализировав полученные экспериментальные зависимости можно сделать вывод: асфальтобетон на основе полимербитумного вяжущего проявляет лучшие прочностные свойства и превосходит асфальтобетон на обычном нефтяном битуме по всем показателям.

Выбранные для исследований физико-механические показатели дают нам наиболее полную картину поведения асфальтобетона в реальных условиях эксплуатации.

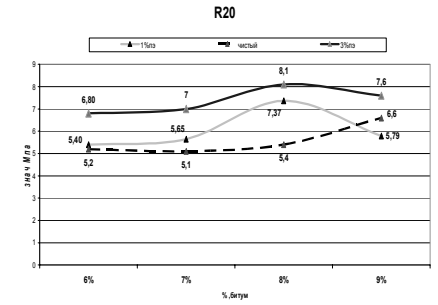


Рис. 1. Прочность при 20^{0}С асфальтобетонных образцов марки Б

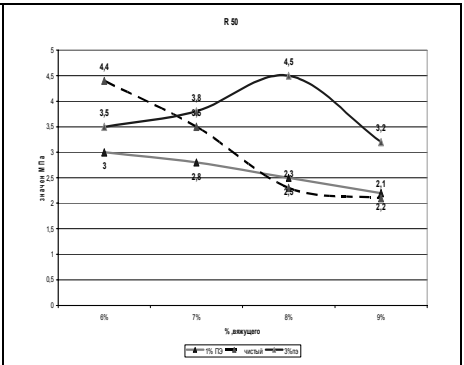


Рис. 2. Прочность при 50^{0}С асфальтобетонных образцов марки Б

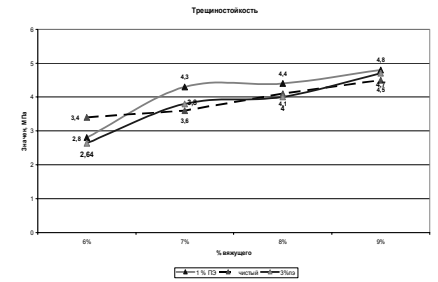


Рис. 3. Трещиностойкость асфальтобетонных образцов марки Б

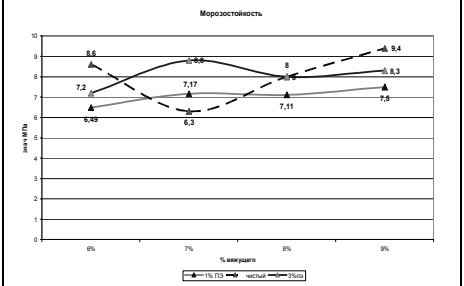
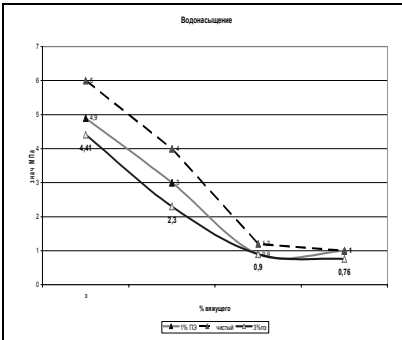


Рис. 4. Морозостойкость асфальтобетонных образцов марки Б



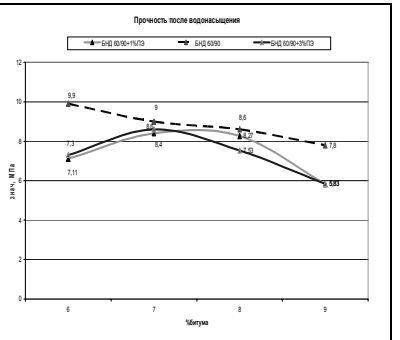


Рис. 5. Водонасыщение Асфальтобетонных образцов марки Б

Рис. 7. Прочность после водонасыщение асфальтобетонных образцов марки Б

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В исследовании свойств асфальтобетона на основе модифицированного полиэтиленом битума, ставилась задача исследования основных эксплуатационных характеристик асфальтобетона и определение оптимальной рецептуры с наилучшими свойствами. Для этого был проведен ряд экспериментальных работ:

1. исследование физико-механических свойств асфальтобетона на основе обычного битума;

2. исследование влияния содержания полиэтилена в битуме на физико-механические свойства асфальтобетона

3. сравнение свойств асфальтобетона на основе обычного битума и асфальтобетона на основе полимербитумного вяжущего;

4. определение оптимальной рецептуры асфальтобетонной смеси;

Анализ полученных в ходе экспериментов зависимостей позволяет сделать следующие выводы, что наиболее оптимальные эксплуатационные свойства проявляет асфальтобетон на основе битума содержащего 3 % полиэтилена, с содержанием его в смеси в количестве 7-8 % по массе. Асфальтобетон с применением этого вяжущего имеет следующие преимущества:

- показатель трещиностойкости выше на 5 %;
- увеличение прочности при 20^0С на 50 %;
- увеличение прочности при 50^0С на 95 %;

Оценив асфальтобетон по всем характеристикам можно сказать, что наиболее оптимальной является рецептура с 7-8 % полимербитумного вяжущего, на основе шлаков НЛМК.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНО В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

1. *Волков Д.С., Румянцев А.В., Маликов О.Г., Беляев П.С.* Изучение свойств асфальтобетонов, приготовленных на основе полимербитумного вяжущего (Тезисы докладов). X научная конференция: Пленарные докл. и краткие тез. / Тамб. гос. техн. ун-т. Тамбов, 2005. С. 47.

2. *Волков Д.С., Румянцев А.В., Маликов О.Г.* Изучение свойств асфальтобетонных смесей приготовленных на основе дорожных битумов, модифицированных полимервой крошкой (Статья). Сборник статей магистрантов по материалам научной конференции 15-17 февраля 2005 года. Выпуск I. Часть 1. – Тамбов, 2005. С. 96-97

3. *А.В. Румянцев, Д.С. Волков, О.Г. Маликов*. Исследование свойств асфальтобетонных покрытий на основе шлаковых отходов новолипецкого металлургического комбината с резинобитумным вяжущим Современные проблемы науки глазами будущих ученых: Сборник статей магистрантов.Выпуск 3.-Тамбов: ТОГУП «Тамбовполиграфиздат», 2005-стр. 44-45

На правах рукописи

Романова Елена Васильевна

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ПРОЦЕССА СУШКИ ПОЛУПРОДУКТОВ ОРГАНИЧЕСКИХ КРАСИТЕЛЕЙ В ТОНКОМ СЛОЕ

Направление 150400. Технологические машины и оборудование

Магистерская программа 150400.32 –
Современные принципы аппаратурного оформления
тепломассообменных процессов

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
магистра техники и технологии

Тамбов 2006

Работа выполнена на кафедре «Химические технологии органических веществ» Тамбовского государственного технического университета (ТГТУ).

Научный руководитель
кандидат химических наук, профессор **Утробин Николай Павлович**

(ТГТУ)

Рецензент:
Исполняющий обязанности начальника
лаборатории физ-мех процессов **Чемерчев Леонид Николаевич**

Ведущая организация ОАО «Пигмент»

Защита состоится «*19*» *июня* 2006 года в _____ часов на заседании государственной аттестационной комиссии Тамбовского государственного технического университета по адресу: 392020, г. Тамбов, ул. Ленинградская, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат подготовлен «__» _____ 2006 года.

Секретарь государственной аттестационной
Комиссии **Нагайцева Н.В.**

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Повышение качества пигментов и красителей является первоочередной задачей для обеспечения конкурентоспособности химической продукции на внутреннем и внешнем рынках. Производства продуктов органического синтеза являются многостадийными с достаточно сложной технологией, формирование и сохранение качественных характеристик продукта обеспечивается в основном на заключительных стадиях (фильтрование, удаление примесей, сушка).

Из названных определяющее значение для качества полупродуктов имеет стадия сушки. В процессе этой операции возможны изменения физико - химических свойств и химического строения основного вещества. Поэтому, в ряде случаев, сушку проводят при относительно низких температурах, в вакууме, в потоке инертного газа и т.д.

Среди полупродуктов органических красителей можно выделить класс материалов, напоминающих по внешнему виду жидкую глинообразную массу, по физико-химическим характеристикам Р - соль (2-нафтол-3,6-дисульфокислота динатриевая соль) относится к этому классу продуктов.

Анализ существующих методов сушки позволяет сделать вывод, что сушку подобных материалов необходимо вести в тонком слое на поверхности инертных тел. При этом способе сушки отсутствует перегрев материала, время пребывания исчисляется минутами, поэтому он применим для сушки термочувствительных материалов. Кроме того, использование этого метода позволяет обеспечить высокую скорость процесса, необходимую концентрацию целевого компонента в высушиваемом материале и требуемый дисперсный состав. Применительно к полупродуктам органических красителей этот метод сушки мало изучен.

В связи с этим исследование кинетики процесса сушки на основе математического моделирования, рассмотренные в данной работе, имеют актуальное значение.

Цель работы. Определить кинетические характеристики процесса сушки Р - соли (2 - нафтол - 3,6 - дисульфокислота, динатриевая соль) в тонком слое;

Для чего:

- оценить возможность использования метода сушки на инертных телах для удаления влаги из суспензий;
- составить математическое описание процесса сушки суспензий на инертных телах и проверить его адекватность;
- обосновать выбор физической модели процесса сушки на одиночной частице в тонком слое;

- разработать методику экспериментального исследования процесса сушки суспензии на одиночной частице;

- определить теплофизические характеристики суспензии Р - соли;

- определить влияние рабочих скоростей, температуры газа, теплофизических характеристик суспензии Р - соли на кинетические характеристики процесса сушки в тонком слое;

Личный вклад автора. Автором проведен литературный обзор по отечественным и зарубежным литературным источникам, разработана методика экспериментального исследования процесса сушки суспензии на одиночной частице, определены теплофизические характеристики суспензии Р - соли; установлено влияние рабочих скоростей, температуры газа, теплофизических характеристик суспензии Р - соли на кинетические характеристики процесса сушки в тонком слое;

Научная новизна работы состоит в следующем:

- разработана методика экспериментального исследования процесса сушки суспензии на одиночной частице;

- получены зависимости для определения коэффициентов массоотдачи при сушке и скалывании продукта;

Практическая ценность. Расширена область применения метода сушки на инертных телах для суспензий полупродуктов органических красителей в тонком слое на поверхности тел инертного носителя.

Предложены зависимости для определения параметров массопереноса процесса сушки, позволяющие рассчитать, с учетом особенностей теплофизических свойств полупродуктов органических красителей, наиболее благоприятные условия сушки.

Определены максимально допустимые границы протекания процесса сушки с учетом термолабильных свойств материалов.

Апробация работы.

Результаты работы доложены VI Всероссийской научно-технической конференции «Новые химические технологии: производство и применение».

(Пенза, 2004.), VII Международной научной конференции «Теоретические и экспериментальные основы создания новых высокоэффективных процессов и оборудования» (Иваново, 2005.)

Публикации. По материалам диссертации имеется 4 публикации.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех частей, списка литературы и приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении рассмотрено краткое содержание работы и показана актуальность решаемых в ней задач.

В первой главе анализируются работы, посвященные методу сушки влажных материалов на инертных телах, а также рассмотрены современные представления об основных процессах, протекающих при обезвоживании продуктов.

Взаимосвязь кинетики и гидродинамики процесса сушки органических продуктов и полупродуктов красителей недостаточно отражена в научной литературе. Поэтому исследование этих вопросов требует более пристального внимания.

По результатам анализа существующих методов измерения влажности и температуры материалов выбран электрокондуктометрический метод измерения влажности и терморезисторный - температуры;

Отсутствие в справочной литературе теплофизических свойств полупродуктов органических красителей потребовало их экспериментального определения.

Во второй главе разработана балансно - кинетическая математическая модель процесса сушки на инертных телах.

При этом были сделаны следующие допущения:

- частицы инертного тела имеют форму прямоугольного параллелепипеда;
- в материале и на поверхности инертного тела отсутствует градиент температуры;
- после впрыска суспензии с потоком сушильного агента происходит ее мгновенное перемешивание по всему объему аппарата и мгновенное осаждение на поверхностях инертных тел;
- процесс сушки имеет место на поверхности инертных тел;
- суспензия распределяется по поверхности, частицы материала высушиваются и скалываются;
- в аппарате не происходит накопления высушиваемого материала;
- диффузионные сопротивления массопроводности не лимитируют процесс сушки; скорость процесса полностью определяется конвективной диффузией паров от поверхности раздела фаз (Т — Г) в ядро газового потока (диффузия во внешней области);
- для газовой фазы осуществляется режим промежуточного смешения (с нормированной функцией плотности распределения $\psi(\theta)$, где θ - нормированное время пребывания);

Поскольку в сушилке нет химических превращений, связанных с ненаблюдаемым притоком компонентов, то выполняется закон сохранения вещества, т.е. соблюдается равенство суммарных входных и выходных потоков, следовательно:

$$G_{in}^{L} + G_{in}^{g} = G_{out}^{g} + G_{out}^{s} \qquad (1)$$

Уравнение материального баланса по целевому продукту:

$$G_{in}^{L} \cdot (1 - W_{in}^{L}) = G_{out}^{s} \cdot (1 - W_{out}^{s}) \quad (2)$$

Уравнение материального баланса по влаге:

$$G_{in}^{L} \cdot W_{in}^{L} + G_{in}^{g} \cdot W_{in}^{g} = G_{out}^{s} \cdot W_{out}^{s} + G_{out}^{g} \cdot W_{out}^{g} \quad (3)$$

Уравнение материального баланса по испаренной влаге:

$$G_{in}^{L} \cdot W_{in}^{L} = G_{W} + G_{out}^{s} \cdot W_{out}^{s} \quad (4)$$

или

$$G_{W} + G_{in}^{g} \cdot W_{in}^{g} = G_{out}^{g} \cdot W_{out}^{g} \quad (5)$$

Уравнение теплового баланса сушильного агрегата:

$$\begin{aligned} &G_{in}^{g} \cdot c_{in}^{g} \cdot T_{in}^{g} + G_{in}^{L} \cdot c_{in}^{L} \cdot T_{in}^{L} = G_{in}^{L} \cdot c_{in}^{L} \cdot \left(T_{b.dr} - T_{in}^{L}\right) + G_{W} \cdot r_{W} + \\ &+ G_{out}^{g} \cdot c_{out}^{g} \cdot T_{out}^{g} + G_{out}^{s} \cdot c_{out}^{s} \cdot T_{out}^{s} + Q^{*} \end{aligned} \quad (6)$$

Для определения неизвестных величин в уравнениях (1) - (6) рассмотрим тепло - массообменные процессы, протекающие на одиночной частице инертного носителя.

Динамику изменения массы для одиночной частицы инертного тела можно описать следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \dfrac{dm}{dt} = G_{in}^{L} \cdot \dfrac{S_{eng}}{S_{t}} - \beta_{W} \cdot S_{eng} \cdot W_{pr} e^{-\frac{E_1}{RT_{pr}}} - \beta_{S} \cdot S_{eng} \cdot h_{eng} & (7) \\ \dfrac{dm_{W}}{dt} = \beta_{W} \cdot S_{eng} \cdot W_{pr} e^{-\frac{E_1}{RT_{pr}}} & (8) \\ \dfrac{dm_{S}}{dt} = \beta_{S} \cdot S_{eng} \cdot h_{eng} & (9) \\ \dfrac{dh_{eng}}{dt} = \dfrac{1}{\rho_{pr} \cdot S_{eng}} \cdot \dfrac{dm}{dt} & (10) \end{cases}$$

Начальные условия:

$$m(0) = m_{0}; m_{W}(0) = m_{W0}; m_{S}(0) = m_{S0}; h_{eng}(0) = h_{eng0} \quad (11)$$

На рис. 1 показана схема "обстановки" вокруг частицы инертного тела. В соответствии с этой схемой могут быть записаны следующие уравнения теплового баланса:

$$\frac{dT_{eng}}{dt} = \frac{K_1 \cdot S_{eng}}{c_{eng} \cdot \rho_{eng} \cdot V_{eng}} \left(T_{pr} - T_{eng}\right) \quad (12)$$

$$\frac{dT_{pr}}{dt} = \frac{1}{c_{pr} \cdot \rho_{pr} \cdot h_{eng}} \left[K_2 \cdot \left(T - T_{pr}\right) - \frac{K_1 \cdot \left(T_{pr} - T_{eng}\right)}{h_{eng}} - \frac{dm_{w}}{dt} \cdot \frac{r_{w}}{S_{eng}} \right] \quad (13)$$

Систему уравнений (12) - (13) необходимо решать совместно с уравнениями (7) - (10) при начальных условиях:

$$T_{pr}(0) = T_{pr0}; T_{eng}(0) = T_{eng0}; T = T_{in}^{g}. \quad (14)$$

Коэффициент теплоотдачи K_2 определялся по количеству тепла, необходимого для испарения влаги, в пересчете на поверхность инертного тела:

$$K_2 = \frac{Nu \cdot \overline{\lambda}_g}{d_{eng}} \quad (15)$$

$$Nu = 5{,}97 \cdot 10^{-2} \cdot Ar^{-0{,}43} \cdot Re^{2{,}0} \cdot Gu^{0{,}61} \left(\frac{H_0}{d_{eng}} \right)^{-1} \quad (16)$$

Коэффициент теплопроводности K_1 определялся по известному уравнению Вебера.

Считаем, что вся суспензия, попадая в аппарат, распределяется равномерно по внутренней поверхности, состоящей из полной поверхности инертных тел S_{cng}, внутренней поверхности аппарата и поверхности S_t выводных отверстий. Таким образом, относительную долю суспензии попадающей на сушку можно определить:

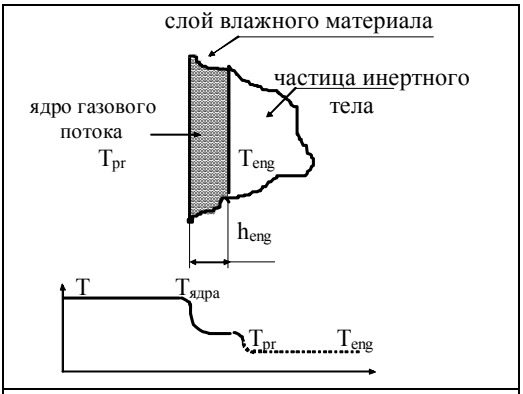


Рис. 1. Схема «обстановки» вокруг частицы инертного тела

$$\eta_1 = \frac{S_{eng}}{S_t} \quad (17)$$

Полное количество суспензии, попадающей на частицы инертных тел будет

$$G_{eng}^{L} = G_{in}^{L} \cdot \eta_1 \quad (18)$$

Дальнейшее распределение потоков процесса сушки происходит в соответствии со схемой сушки в сушилке с инертным носителем (рис.2). Суспензия, попадающая на инерт, участвует в процессе сушки, где происходит перераспределение влаги между потоком G_{eng} и потоком G_{in}^{g}.

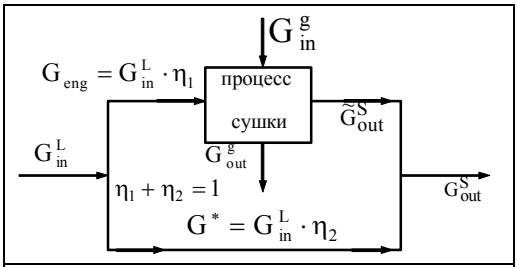


Рис. 2. Схема основных потоков процесса сушки в сушилке с инертным носителем

Результатом этого перераспределения является образование потока высушенного продукта (целевого вещества) $\tilde{G}^S_{out}$ и обогащенного влагой (отработанного) газа G^g_{out}. $\tilde{G}^S_{out}$ представляет собой поток сухого вещества, скалываемого с частиц инертных тел и направляющегося в ядро потока в аппарате. Он является в определенном смысле гипотетическим ввиду того, что реальному наблюдению (контролю) поддается лишь поток G^s_{out}, получаемый в результате смешения потоков $\tilde{G}^S_{out}$ и G*. Из совместного решения системы уравнений (7)-(10) и (12)-(13) с начальными условиями (11) и (14) могут быть получены зависимости $m_W(t)$ и $T_{pr}(t)$ по заданным d_1, d_2, d_3 и t, т. е. фактически (7)-(14) и определяют $m_W(t, d_1, d_2, d_3)$ и $T_{pr}(t, d_1, d_2, d_3)$. Тогда общую массу влаги, которая перейдет из продукта в газовую фазу в результате перераспределения можно вычислить из уравнения:

$$G_W = \frac{\int_0^{t_{max}} \int_{d_{1min}}^{d_{1max}} \int_{d_{2min}}^{d_{2max}} \int_{d_{3min}}^{d_{3max}} \psi(t) \cdot \varphi(d_1) \cdot \varphi(d_2) \cdot \varphi(d_3) \cdot m_W(t, d_1, d_2, d_3) \cdot dt \cdot dd_1 \cdot dd_2 \cdot dd_3}{\int_0^{t_{max}} t \cdot \psi(t) \cdot dt}$$

(19)

а температуру продукта на выходе:

$$T^S_{out} = \int_0^{t_{max}} \int_{d_{1min}}^{d_{1max}} \int_{d_{2min}}^{d_{2max}} \int_{d_{3min}}^{d_{3max}} \psi(t) \cdot \varphi(d_1) \cdot \varphi(d_2) \cdot \varphi(d_3) \cdot T_{pr}(t, d_1, d_2, d_3) \cdot dt \cdot dd_1 \cdot dd_2 \cdot dd_3$$

(20)

где $\psi(t)$ представляет собой функцию плотности распределения по времени пребывания газовой фазы в слое инертных тел:

$$\psi(t) = f\left(\psi(0), G^g_{in}, V\right) \qquad (21)$$

Таким образом, система балансовых уравнений (1) - (6) замыкается еще двумя уравнениями (19) - (20), что формирует модель процесса сушки на инертных телах. Анализ математической модели позволяет сделать вывод, что по известному времени процесса сушки на одной

частице инерта можно сделать приближенный расчет массы твердой фазы удаленной с частицы инерта, ее влажности и температуры. Суммирование по всем частицам инертных тел и учет перемешивания газовой фазы в аппарате позволит решить систему уравнений материальных и тепловых балансов для всей сушилки в целом.

В третьей главе приведен результат экспериментального исследования сушки Р-соли на одиночной частице.

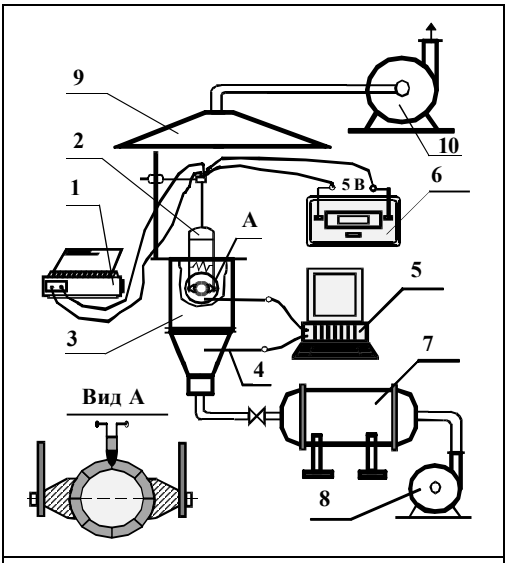


Рис. 3. Принципиальная схема экспериментальной установки: 1 - двухкоординатный самописец ЭНДИМ 622.01; 2 - датчики температуры и влажности; 3 - сушилка кипящего слоя; 4 - термопара; 5 - контрольный самопишущий прибор; 6 - источник постоянного тока; 7 - калорифер; 8 - воздуходувка; 9 - короб вытяжной системы; 10 - вытяжной вентилятор

С целью исследования кинетики сушки на одиночной частице разработаны экспериментальная установка (рис. 3) и датчик влажности на основе электрокондуктометрического метода, в качестве датчика температуры использовался терморезистор СТ3-19.

В процессе сушки суспензии уменьшается влажность, а следовательно, возрастает удельное объемное сопротивление.

В ходе исследований получены зависимости изменения электрического напряжения U=f(t) и тарировочный график W=f(U), что позволило определить влажность материала в процессе сушки.

Эксперимент по сушке на одиночной частице проводился следующим образом: осуществлялся прогрев сушилки и инертного носителя до температуры сушки; взвешивалась навеска суспензии материала; суспензия шприцеванием наносилась на поверхность инертного тела (керамический шарик с наружной поверхностью $S = 4{,}522 \cdot 10^{-4}$ м^2); полученный образец помещался между двух сферических электродов; прижимное усилие обеспечивалось специально подобранной пружиной; внутрь слоя высушиваемого материала помещалась чувствительная часть датчика температуры; исследуемый образец с электродами пере-

носился внутрь потока сушильного агента, одновременно включалось питание на самописце и источнике постоянного тока (напряжение тока $U_{пит}$ = 5 В); по окончании процесса сушки (появление стабильного горизонтального участка на графической зависимости U=f(t)) прекращалась подача сушильного агента, производился перевод графической зависимости (при помощи графика W = f(U)) из формы U=f(t) в W=f(t).

Сушка материалов велась в диапазоне температур от 40 °С до 90 ºС и при скоростях газа 0,89 - 1,91 м/с. В результате анализа получили зависимости для коэффициента массоотдачи процесса сушки (рис. 4 и 5).

Скалывание высушенного продукта с поверхности инертного носителя начинает проявляться не с начала процесса сушки, а при достижении некоторого критического значения влажности материала (для Р-соли - $W_{кр} = 5{,}0$ %).

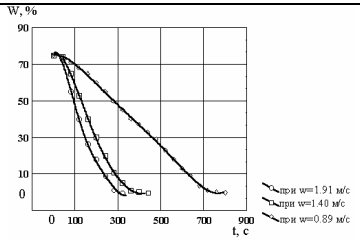


Рис. 4. Зависимость коэффициента массо-отдачи при сушке от температуры процесса в диапазоне скоростей воздуха:
1) w= 1,91 м/с; 2) w=l,40 м/с; 3) w =0,89 м/с

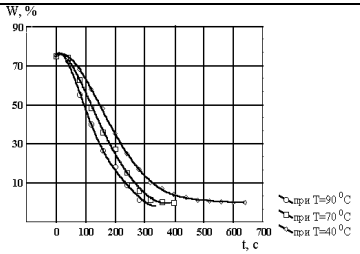


Рис. 5. Зависимость коэффициента массо-отдачи при сушке от скорости сушильного агента в диапазоне температур процесса сушки: 1) t= 90 °С; 2) t=70 °С; 3) t= 40 °С

Исследование процесса скалывания высушенного продукта проводилось методом последовательного взвешивания частиц инертного носителя с материалом до полного скола сухой оболочки (рис.6 и 7).

В результате анализа была получена расчетная зависимость для определения условного коэффициента массоотдачи скалывания подсушенного материала с частиц инертного носителя:

$$\beta_S = \frac{1{,}33 \cdot 10^{-3}}{h_{eng}} \cdot \beta_w^{\ -0{,}313} \qquad (22)$$

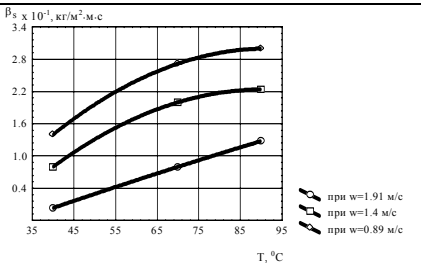


Рис. 6. Зависимость коэффициента массоотдачи при сколе от температуры процесса сушки в диапазоне скоростей сушильного агента w=0,89 ÷ 1,91 м/с

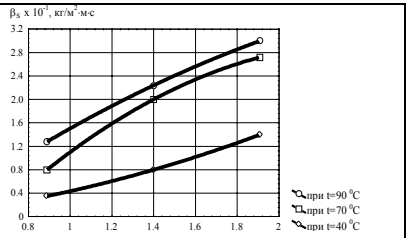


Рис. 7. Зависимость коэффициента массоотдачи при сколе от скорости воздушного потока сушки в диапазоне температуры сушильного агента t = 40 ÷ 90 ^{0}C

В качестве инертного носителя используется фторопластовая крошка. При выводе модели предполагалось, что частицы инерта имеют форму прямоугольного параллелепипеда с характерными размерами d_1, d_2, d_3.

Как показали измерения линейных размеров частиц, их величины изменяются в довольно широком диапазоне. По этой причине расчет различных показателей по средним значениям размеров невозможен, поскольку это может привести к заметным отклонениям. Поэтому будем считать, что d_1, d_2, d_3 представляют собой случайные величины, подчиняющиеся некоторым законам распределения. По физическому смыслу к рассматриваемому процессу наиболее близок нормальный закон распределения. Расхождение расчетных и экспериментальных данных не превышает 5%.

В четвертой главе представлены результаты проверки адекватности математической модели реальному процессу сушки на инертных телах. Проверка тепло- и массообменных процессов на одиночной частице инертного тела осуществлялась на лабораторной установке со следующими параметрами работы: температура сушильного агента варьировалась в диапазоне от 60 °С до 80 °С; скорость воздуха w=l,91 м/с; концентрация твердой фазы в суспензии продукта 75,0%.

Оценить адекватность математической модели реальному процессу сушки на инертных телах можно, сопоставляя кинетические кривые сушки и изменения температуры процесса, полученные экспериментальным и расчетным путем (рис. 7,8 и 9).

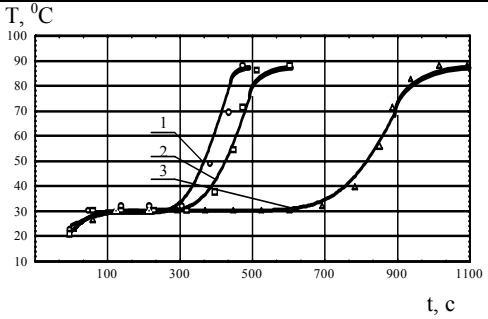


Рис. 7. Сравнение расчетных (сплошная линия) и экспери-ментальных значений температуры Р-соли в процессе сушки на инертных телах при температуре сушильного агента 90 ^{0}С и при скоростях газового потока: 1 - при 1,91 м/с; 2 - при 1,41 м/с; 3 - при 0,89 м/с

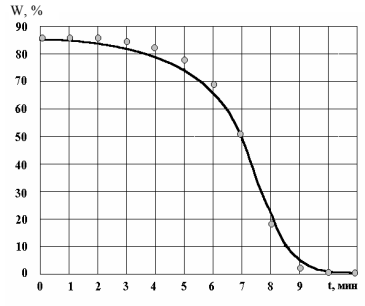


Рис. 8. Сравнение расчетных (сплошная линия) и экспериментальных кинетических кривых процесса сушки Р-соли при температуре 60 ^{0}С

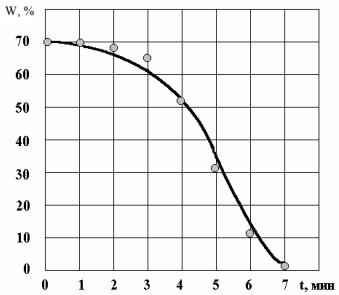


Рис. 9. Сравнение расчетных (сплошная линия) и экспериментальных кинетических кривых процесса сушки Р-соли при температуре 90 ^{0}С

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Проведен литературный обзор по методам сушки полупродуктов органических красителей в тонком слое на инертном носителе. Установлено, что возможна сушка суспензии полупродуктов органических красителей в псевдоожиженном слое инертных тел. В качестве инертного носителя предлагается использовать фторопластовую крошку.

2. Предложено математическое описание процесса сушки суспензий полупродуктов органических красителей в тонком слое на инертном носителе и проведена проверка его адекватности на примере Р-соли.

3. Экспериментально изучено влияние температуры, скорости обдува и режима скола на кинетические характеристики процесса сушки в тонком слое. Для чего:

- была разработана методика экспериментального исследования процесса сушки суспензии на одиночной частице

- определены теплофизические характеристики суспензии Р - соли

- исследованы коэффициенты массоотдачи при сушке и сколе материала

- получены эмпирические зависимости для расчета коэффициентов массоотдачи при сушке и сколе

ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

c_{in}^{L}, c_{in}^{g} - теплоемкость суспензии и газа на входе в сушильным агрегат, Дж/кг·К; c_{out}^{g}, c_{out}^{S} - теплоемкость газа и твердой фазы на выходе из аппарата, Дж/кг·К; $c_{pr}, c_a, c_w, c_{eng}$ - теплоемкость продукта, воздуха, воды и материала инерта, Дж/кг·К; d_1, d_2, d_3 - размеры частицы инерта (длина, ширина, высота), м; D_1, D_2, H_1, H_2 - основные геометрические размеры аппарата, м; G_{in}^{L}, G_{in}^{g} - расход суспензии исходного вещества и газовой фазы, кг/с; G_{out}^{g}, G_{out}^{S} - расход газовой и твердой фаз на выходе из сушилки, кг/с; G_W - массовый расход испаренной влаги, кг/с; h_{eng} - толщина слоя материала на поверхности частицы инерта, м; K_2 - коэффициент теплоотдачи от материала в ядро потока, Дж/м^2·с·К; K_1 - коэффициент теплопроводности материала, Вт/м·К; m - масса суспензии на частице инертного тела, кг; m_W - масса влаги, удаляемой с частицы инертного тела, кг; m_S - масса целевого продукта, кг; N_{eng} - количество частиц инерта в аппарате; r_W - удельная теплота парообразования, кДж/кг; R_W - скорость удаления влаги с частицы инерта, кг/с; R_S - скорость удаления целевого продукта с частицы инерта, кг/с; S_t - полная поверхность слоя частиц инерта, м^2; S_{eng} - поверхность одиночной частицы инерта, м^2; T_{in}^{L}, T_{in}^{g} - температура суспензии и воздуха на входе в аппарат, К; T_{eng}, T_{pr} - температура частицы инертного тела и продукта, К; T_c, T_m - температуры сухого и мокрого термометров, К; Q^* - потери тепла в окружающую среду, Дж/с; β_w, β_s - коэффициент массоотдачи процесса сушки, кг/с·м^2; ρ_{eng} -

плотность материала инерта, кг/м^3; W_{out}^{g}, W_{out}^{S} - относительная влажность газовой и твердой фаз на выходе из аппарата, кг/кг; W_{in}^{L}, W_{in}^{g} - относительная влажность исходной суспензии и газовой фазы на входе в аппарат, кг/кг; V_{eng} - объем частицы инерта, м^3; λ_g - теплопроводность сушильного агента, Вт/м·К; μ_g - коэффициент динамической вязкости газовой фазы Па·с; ρ_{eng}, ρ_g - плотность материала инерта и газовой фазы, кг/м^3; ω - скорость движения газовой фазы, м/с; $\varphi_1(\xi), \varphi_2(\xi), \varphi_3(\xi)$ - функции плотности распределения геометрических размеров частиц инерта.

ИНДЕКСЫ

g-(gas) - относится к газу; L-(liquid) -к жидкой фазе; s-(solid) -к твердой фазе; in-(input) -к входному потоку; out-(output) - к выходному потоку; pr-(product) - целевой продукт ; w-(water) - вода; a-(air) - воздух; max - максимальный; min - минимальный; eng-(engineering) - относится к инертному носителю; * - относится к потерям.

Материал диссертацпи представлен публикациями:

1. *«Новые* подходы к разработке заключительных стадий производства полупродуктов органических красителей на примере Р-соли»/ Успехи в химии и химической технологии: Сб. науч. тр. Том XVIII, № 4 (44). – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2004. - с.33-36

2. *«К вопросу* интенсификации процесса сушки азопигментов с использованием циклического теплового режима»/ X научная конференция ТГТУ – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005.

3. *«Повышение* эффективности существующего сушильного оборудования в производстве азопигментов»/ Труды ТГТУ: Сборник научных статей молодых ученых и студентов. Вып. 17 – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. – с.37-41

4. *«Исследование* процесса удаления примесей из паст органических пигментов»/ Современные проблемы науки глазами будущих ученых. Сборник статей магистрантов. Выпуск III. – Тамбов: ТОГУП «Тамбовполиграфиздат», 2005. – с.49-54

На правах рукописи

Лукина Наталья Вячеславовна

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ С ХИМИЧЕСКИМИ ПРЕВРАЩЕНИЯМИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ОПТИЧЕСКИХ ОТБЕЛИВАТЕЛЕЙ

Направление150400. Технологические машины и оборудование
Магистерская программа 150400.32 –
Современные принципы аппаратурного оформления
тепломассообменных процессов

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
магистра техники и технологии

Тамбов 2006

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы.

С 1992 года на внутренний российский рынок стали проникать ведущие западные производители химической продукции. Для захвата рынка примерно с 1993 г. они начали снижать цены на полупродукты, красители, отбеливатели и др. Это противоречит повышению общемировых цен на энергоносители. Такая тенденция имеет ряд объяснений.

Первое: Некоторые фирмы, в зависимости от заказчиков, могут охранять соотношение цена/качество за счет снижения качества.

Второе: Ряд фирм может получать более дешевое сырье, которое составляет основную долю в себестоимости большинства красителей. Некоторое снижение цены возможно также за счет снижения стоимости энергоносителей и энергосбережения, хотя для относительно высокотемпературных процессов даже для новых заводов, сушильного и др. оборудования никаких прорывных технологий нет и пока они мало реальны.

Поэтому, в плане конкурентной борьбы задача создания отечественных ресурсо- и энергосберегающих технологий является очень актуальной.

Анализ многостадийных производств показывает, что количество "элементарных монопроцессов", по мере продвижения от начальной стадии к заключительной, возрастает, и, фактически, заключительная стадия является "полипроцессом".

Наиболее характерным примером полипроцесса в химической технологии является сушка - заключительная стадия большинства разнообразных производств. Основной причиной проявления большого многообразия монопроцессов на стадии сушки является их протекание на "фоне" трехфазной системы.

Изучением процессов сушки, осложненных физико-химическими превращениями, занимались многие выдающиеся ученые. Широко известны труды А.В. Лыкова, П.Г. Романкова, А.Н. Плановского, А.А. Долинского, В.И. Коновалова, Б.С. Сажина, В.Ф. Фролова, С.П. Рудобашты, В.И. Муштаева, И.Н. Таганова, О. Кришера, Р. Кия и других ученых.

Цель диссертационной работы.

Исследовать кинетику процесса сушки с учетом физико-химических, химических и релаксационных свойств многокомпонентных систем на примере водных суспензий оптического отбеливателя белофора КД-2.

Для достижения этой цели были поставлены следующие основные **задачи**:

- разработать способы интенсификации процесса сушки за счет использования внутренней энергии системы;
- изучить влияние отклонений свойств растворов от закона Рауля на продолжительность процесса сушки;
- изучить влияние релаксационных свойств многокомпонентных систем на характер протекания процесса сушки;
- предложить способы выделения и идентификации элементарных монопроцессов из полипроцесса;
- разработать методику измерения тепловых эффектов, проявляющихся на кинетических кривых процесса сушки;
- изучить влияние электролитов (NaCl) на термическое поведение оптических отбеливателей в процессе сушки;
- исследовать воздействие компонентов вспенивающей группы на термическое поведение целевого продукта в процессе сушки;
- использовать особенности протекания пограничных явлений на полупроводниковых материалах для оптимизации процесса сушки;
- разработать математическую модель описания процесса;
- предложить пути оптимизации и аппаратурного оформления процесса сушки оптических отбеливателей.

Объектами исследования являются:

- водные суспензии оптического отбеливателя белофора КД-2, класса бистриазиниламиностильбенов;
- водные суспензии белофора КД-2, содержащие вспенивающие агенты (карбамид, азодикарбонамид) и ПАВ (диспергатор-НФ и пара - толуолсульфокислоту);
- водные растворы NaCl, содержащие карбамид и ПАВ;
- оксид цинка (полупроводник n-типа).

Предметом исследования является поведение многокомпонентных систем в процессе сушки.

Личный вклад автора. Автору принадлежат:

- анализ литературных данных о способах интенсификации химико-технологических процессов с позиции энергосбережения;
- проведение экспериментальных работ по изучению кинетики сушки, анализ экспериментальных данных;
- разработка способа выделения и идентификации элементарных монопроцессов из полипроцесса.

Научная новизна:

1. Впервые для изучения кинетики сушки предложен метод тождественных композиций, основанный на использовании различий в релаксационных свойствах многокомпонентных систем.

2. Впервые показано, что использование метода тождественных композиций позволяет выделить, а совместный анализ кинетических кривых сушки идентифицировать элементарный монопроцесс.

3. Впервые показано, что различия в релаксационных свойствах многокомпонентных систем проявляются в виде петли температурного гистерезиса на кинетических кривых сушки.

4. Впервые установлено, что площадь релаксационной петли пропорциональна тепловому эффекту, сопутствующего сушке, параллельного процесса кристаллизации.

5. Показано, что образование релаксационной петли температурного гистерезиса является способом квантования полипроцесса, т. е. способом выделения дискретного монопроцесса.

Практическая значимость диссертации.

- Предложен способ интенсификации процесса сушки за счет использования внутренней энергии системы.
- Предложен способ снижения температуры процесса сушки, основанный на использовании особенностей протекания пограничных явлений на границах раздела фаз.
- Установлено отрицательное влияние NaCl на термическую устойчивость белофора КД-2 в процессе сушки.
- Установлено отрицательное воздействие порофоров на термическую устойчивость белофора КД-2 в процессе сушки.

Реализация работы.

Методика изучения процесса геометрической изомеризации производных бистриазиниламиностильбена используется на ОАО "Пигмент". Результаты кинетических исследований планируется использовать для оптимизации технологии производства оптических отбеливателей на ОАО "Пигмент".

Апробация работы.

Результаты работы доложены в двух докладах на второй международной научно – практической конференции «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности» в 2006 году (Россия, Санкт – Петербург).

Публикации.

Результаты диссертационной работы легли в основу 4 публикаций.

Структура и объем диссертации.

Диссертация стоит из аннотации, введения, пяти глав, заключения и списка литературы, включающего 156 источников. Работа изложена на 123 стр., содержит 39 рисунков и 10 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность цели диссертационной работы, сформулирована задача исследования.

В первой главе проведен анализ литературных данных о современных представлениях о протекании сложных технологических процессов и, в частности, процесса сушки, осложненного физико-химическими превращениями. Рассмотрены различные способы оптимизации химико-технологических процессов с позиции ресурсо-энергосбережения.

На основании проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

– предлагаемые способы интенсификации процесса сушки требуют предварительных затрат энергии и являются экстенсивными. Очевидно, что по этой причине они не могут быть энергосберегающими;

– наиболее перспективным способом интенсификации производственных процессов является совершение работы за счет использования внутренней энергии системы;

– мало изучен вопрос о влиянии отклонений свойств растворов от закона Рауля на продолжительность процесса сушки;

– возможность применения ПАВ для интенсификации процесса сушки в литературе практически не рассматривается;

– не учитываются релаксационные особенности протекания процесса сушки в случае низкомолекулярных веществ и композиций;

– рассмотренные в литературе способы выделения дискретных монопроцессов не позволяют идентифицировать элементарный монопроцесс из полипроцесса;

– отсутствуют методики измерения тепловых эффектов, проявляющихся на кинетических кривых процесса сушки;

– термические свойства органических соединений не учитываются в настоящее время при проведении технологических процессов;

– не изучено влияние электролитов на термическое поведение органических соединений в процессе сушки.

– в литературе не рассматривается отрицательное воздействие вспенивающих агентов в процессе сушки на целевой продукт;

– особенности протекания пограничных явлений на полупроводниковых материалах не используются для оптимизации процесса сушки;

Во второй главе описаны экспериментальные методики:

– Методика приготовления комозиций для исследования процесса сушки.

– Оценка термической устойчивости компонентов композиций методом дифференциального термического анализа.

– Методика изучения кинетики сушки.

– Методика исследования процесса адсорбции.

– Метод расчета теплового эффекта реакции на примере реакции гидролитического разложения карбамида.

– Методика приготовления исходных растворов для калибровки тепловых эффектов, проявляющихся на кинетических температурных кривых процесса сушки.

– Методика количественной оценки теплового эффекта реакции.

В третьей главе представлены результаты экспериментальных исследований процесса сушки оптических отбеливателей, осложненного протеканием побочных процессов.

В реальном производстве используются не индивидуальные вещества, а сложные композиции, состоящие из нескольких компонентов. Если композиция состоит из n компонентов, то в этом случае предельное число возможных вариантов, напр. за счет изменения порядка загрузки компонентов и пр., можно оценить как:

$$P_n = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \ldots \cdot n = n!, \qquad (1)$$

где P_n - число перестановок, *n* - целое положительное число.

Композиции, получаемые за счет различного порядка загрузки компонентов, являются тождественными.

Типичным примером кинетических температурных кривых сушки тождественных композиционных систем являются кривые, представленные на рис. 1 и 2.

Если между компонентами протекает m взаимодействий и при этом $n \geq m$, то количество тождественных композиций уменьшается и описывается числом размещений или числом сочетаний.

Вода и органические растворители являются наиболее распространенными дисперсионными средами. Эти компоненты используются в качестве основы для приготовления большинства композиций, и поэтому для них очередность загрузки в реактор является приоритетной. Формула (1) в этом случае приобретает вид:

$$P_{n-1} = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \ldots \cdot (n-1) = (n-1)! \qquad (2)$$

Если $n \to \infty$, то спектр времен релаксации является непрерывным и описывается уравнением:

$$T(t) = \int_0^{\infty} T(\tau) \exp\left(-t/\tau\right) d\tau, \qquad (3),$$

где T(t) является суммой функций Дирака $\delta(1/\tau - 1/\tau_p)$, т. е. $\delta(1/\tau - 1/\tau_p)$ обращается в нуль для всех $1/\tau \neq 1/\tau_p$.

Из уравнения (3) следует, что энергетические границы и временные интервалы отдельных физических и химических процессов, протекающих в системе, перекрываются. Поэтому для выделения элементарного монопроцесса необходимо снять вырождение с массива температурных кривых релаксации.

Это условие реализуется, если число компонентов в композиции является конечным. Например, при n = 4 возможное число вариантов смешивания равно:

$$P_{4-1} = 1 \cdot 2 \cdot 3 = 6 . \qquad (4)$$

В этом случае можно получить 6 тождественных композиций, которые различаются спектрами времен релаксации. При сушке этих композиций получается совокупность температурных кривых, отражающих шестикратно потенциально вырожденное энергетическое состояние системы.

Схематично совокупность температурных кривых, соответствующих шестикратно вырожденному энергетическому состоянию тождественных композиций, представлена на рис. 1.

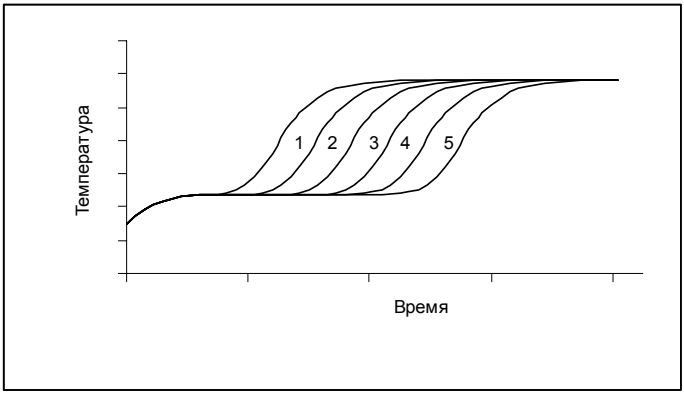


Рис. 1. Схема шестикратно вырожденного энергетического состояния тождественных композиций ***Добавить справа на поле 6***

С учетом схемы, представленной на рис. 1, можно выделить и идентифицировать элементарный монопроцесс. Для этого необходимо выполнить следующие условия:

- составить материальный баланс процесса сушки;
- количественно определить величины тепловых эффектов монопроцессов 1-5;
- рассчитать стехиометрию элементарных монопроцессов с ис-

пользованием совместного анализа кинетических кривых процесса сушки.

На примере сушки композиции состава: вода - NaCl - карбамид было показано, как на практике, используя метод тождественных композиций, можно выделять и идентифицировать элементарный монопроцесс.

Таблица 1

Материальный баланс сушки композиций на основе NaCl

Композиция		Содержание компонентов в композиции, %(масс.)			
		H_2O	NaCl	$CO(NH_2)_2$	NaCl+$CO(NH_2)_2$
а	Загружено (теорет.)	70,0	25,0	5,0	30,0
	Получено	0	–	–	30,4
б	Загружено (теорет.)	70,0	25,0	5,0	30,0
	Получено	0	–	–	30,15

По методике, описанной в главе 2 изучали кинетику сушки указанной композиции. При приготовлении растворов изменяли порядок смешивания компонентов. Составляли материальный баланс процесса до, и после сушки. Полученные данные представлены в таблице1.

Из данных табл.1 следует, что композиции 1а и 1б имеют одинаковые количественный и качественный составы и различаются только порядком загрузки компонентов. Для таких композиций можно ввести понятие "тождественные композиционные системы".

Тождественные композиционные системы - это системы, имеющие одинаковые количественный и качественный составы, но различающиеся спектрами времен релаксации. Различие в спектрах времен релаксации, прежде всего, отражается на кинетических кривых процесса сушки. Что наглядно демонстрируют данные, представленные на рис. 2.

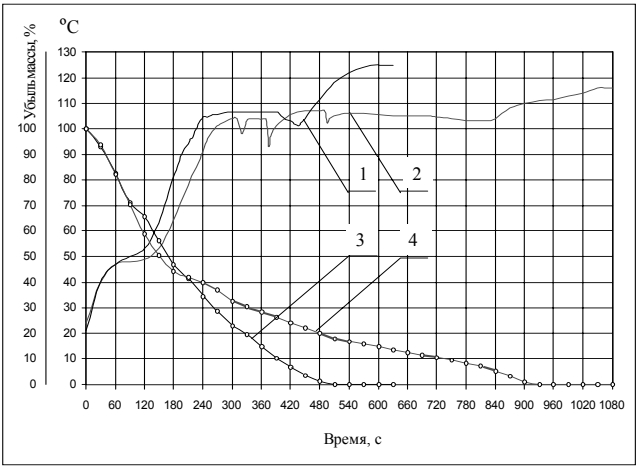


Рис. 2. Кинетические кривые сушки композиций составов 1а и 1б. Температура сушильного агента 120^{0}С, скорость сушильного агента 5м/с. 1 - изменение температуры композиции 1а; 2 - изменение температуры композиции 1б; 3 - убыль массы композиции 1а; 4 - убыль массы композиции 1б

Из данных рис. 2 следует, что при наложении друг на друга кинетических температурных кривых (зависимости 1 и 2) в интервале времени 65-300 секунд образуется релаксационная петля температурного гистерезиса. Из совместного анализа кинетических кривых и стехиометрического расчета процесса сушки можно допустить, что площадь (масса) релаксационной петли температурного гистерезиса представляет собой теплоту кристаллизации NaCl.

Анализ экспериментальных данных по изучению кинетики процесса сушки, представленных в главе 3, позволил следующим образом охарактеризовать свойства тождественных композиционных систем:

– для тождественных композиционных систем характерно проявление релаксационной петли температурного гистерезиса;

– образование петли с одной стороны обусловлено протеканием параллельных побочных процессов, а с другой стороны связано с отклонениями свойств раствора (системы) от закона Рауля;

– площадь соответствующей релаксационной петли пропорциональна тепловому эффекту, сопутствующего сушке, параллельного процесса (кристаллизации, комплексообразование, гидратации ионов, образования и распада кристаллогидратов и т. д.);

– образование петли температурного гистерезиса является способом квантования полипроцессов, то есть способом выделения дискретного монопроцесса;

– монопроцессы суммарного полипроцесса не могут иметь одинаковых релаксационных характеристик;

– временные интервалы и энергетические уровни отдельных монопроцессов перекрываются, поэтому температурная кривая полипроцесса является вырожденной;

– изменение релаксационных свойств композиции за счет различного порядка загрузки компонентов позволяет снять температурное вырождение и фактически выделить дискретный тепловой эффект;

– релаксационные свойства композиции позволяют применить цикл Борна-Габера для определения тепловых эффектов отдельных стадий (гидратация, адсорбция, образование водородных связей, комплексообразование и т. д.).

Изучение процессов, представленных в главе 3:

- хемосорбции белофора КД-2 на оксиде цинка, - циклогексилтиофталимида на оксидах цинка, кадмия, магния и кремния;
- геометрической изомеризации белофора КД-2 при адсорбции на ZnO;
- термического разложения компонентов отбеливающей композиции позволяет сделать следующие выводы:

1. Оксид цинка катализирует процесс изомеризации люминесцентной транс-формы отбеливателя в нелюминесцентную цис-форму.
2. Присутствие следовых количеств NaCl в водной композиции катализирует процесс разложения белофора КД-2 на стадии сушки.
3. Способность ЦТФ адсорбироваться на различных окислах зависит от химической природы окисла. Другими словами, окисные пленки могут оказывать существенное влияние на поведение целевых продуктов в процессе сушки.
4. Большое значение имеет выбор материала подложки при изучении кинетических особенностей процесса сушки.
5. Применение ПАВ в составе вспенивающей композиции снижает температуру разложения порофора.
6. Присутствие порофора в составе отбеливающей композиции уменьшает термическую устойчивость белофора КД-2 в процессе сушки.
7. Применение активатора разложения (ПАВ) порофора в составе вспенивающей композиции увеличивает термическую устойчивость белофора КД-2 в процессе сушки.
8. Совместное применение карбамида и диспергатора-НФ в составе вспенивающей группы позволяет ускорить процесс сушки во втором периоде.
9. Совместное применение ЧХЗ-21 и ПТСК в составе вспенивающей группы снижает скорость процесса сушки во втором периоде.

В четвертой главе предложена математическая модель структуры растворов электролитов.

Полное достоверное математическое описание всех процессов, протекающих в многокомпонентной системе при сушке, на данном этапе исследований представляется очень сложной задачей.

Очевидно, что состояние проблемы находится на таком этапе изучения, который не позволяет создать математическую модель, учитывающую все протекающие процессы и на ее базе провести инженерно-физические расчеты.

Поэтому, в этом случае, чтобы математическая модель наиболее объективно соответствовала экспериментальным данным, она должна в большей степени описывать термодинамические, а не кинетические свойства системы.

В настоящее время можно дать количественную характеристику структурных изменений растворителя в ионных процессах (сольватация, растворение и др.). Для этой цели используют энтропийные характеристики, как наиболее чувствительные к изменению структуры. Был предложен новый метод исследования структурных изменений растворителей под влиянием ионов. Этот подход базируется на модельных представлениях о состоянии ионов в растворе, подобном состоянию в нем атома благородного газа, имеющему то же число электронов и ту же атомную массу.

Считается, что растворимость благородных газов в воде непосредственно связана со структурным состоянием растворителя. Получаемые при этом термодинамические характеристики солевых эффектов позволяют глубже подойти к решению вопроса о механизме взаимодействия в системе ион - вода.

Строение, структура и свойства растворов электролитов в воде, неводных и смешанных растворителях во многом зависит от взаимодействия ионов с молекулами растворителя раствора, т. е. от сольватации. Процесс сольватации можно представить уравнением

$$M_{г}^{z} + mR_{ж} \rightarrow M_{p-p}^{z} = M_{сольв}^{z} + kR_{p-p} \ , \qquad (5)$$

где R - символ молекулы растворителя; m и k - числа молекул растворителя, изменяющие свои свойства при сольватации иона.

Ион $M_{сольв}^{z}$ в общем случае можно представить как

$$M_{сольв}^{z} = \left\{ \left[M_{I}^{I} \middle| (R)_{n}^{z1} \right]_{II}^{II} \middle| (R)_{p+t}^{z2} \right\rangle \Bigg\}_{III}^{III} , \text{ а } \qquad z_1 + z_2 = z \ ,$$

(6)

где n - число молекул растворителя, находящегося в непосредственном контакте с ионом; (p+t) - число молекул растворителя в объеме, которые изменяют свои свойства при сольватации ионов; различие между ними наблюдается тогда, когда ион $\left[M(R)_n^{z1} \right]$ ведет себя как единое целое; I-I, II-II и III-III - границы раздела между ионами в растворе и растворителе.

Изменение энтропии при гидратации ионов с учетом границ раздела I-I и уравнений (5, 6) можно записать как

$$\Delta S^{o}_{гидр} = \Delta S_{I} + \Delta S_{II} \qquad (7)$$

или

$$\Delta S^{op}_{гидр} = \Delta S^{p}_{I} + \Delta S_{II} \qquad (8)$$

Из уравнений (7) и (8) следует, что

$$\Delta S_{II} = \Delta S^{o}_{гидр} - \Delta S_{I} = \Delta S^{op}_{гидр} - \Delta S^{p}_{I} \qquad (9)$$

где ΔS_{II} - суммарное изменение энтропии воды в процессе (5).

Различия в подвижности молекул воды (изменение энтропии) наиболее наглядно можно наблюдать при наложении друг на друга кинетических кривых сушки близких по составу композиций. В этом случае кинетические кривые одной из композиций являются реперными.

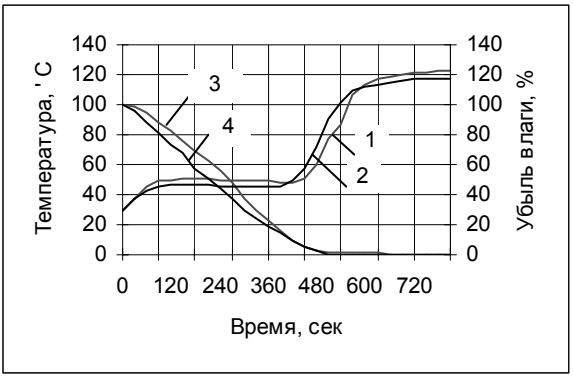


Рис. 3. Кинетические кривые сушки водных композиций составов Л1 (20 % КД-2) и Л3 (20 % КД-2+0,8 % карбамида) (% масс.).
Температура сушильного агента 120 ^{0}С, скорость сушильного агента 5м/с.
1, 2 - изменение температуры композиций Л1 и Л3 соответственно;
3, 4 - убыль влаги композиций Л1и Л3 соответственно

Сопоставление кинетических кривых сушки позволяет рассчитывать изменение термодинамических параметров процесса сушки, например, изменение энтропии ΔS_{II}.

Различия в тепловых эффектах, проявляющиеся в первом периоде сушки композиций Л1, Л3, Л5, представлены в таблице 2.

Таблица 2

Различия в тепловых эффектах проявляющиеся в первом периоде сушки композиций Л1-Л3, Л1- Л5

Композиция	Величина теплового эффекта, кДж
	1 период сушки
Л1-Л3	4,283
Л1-Л5	4,564

Приведем порядок расчета изменения энтропии ΔS_{II} на примере композиций Л1-Л3 (рис. 3.). Как уже отмечалось выше, кинетические кривые сушки композиции Л1 являются реперными. Температурные кривые Л1 и Л3 (зависимости 1 и 2) пересекаются в момент времени 405 секунд. К этому моменту времени при сушке композиции Л3 осталось 12,76 % влаги или испарилось 69,094 грамма воды. Эта величина соответствует количеству вещества:

$\nu = m/M = 69{,}094/18{,}015 = 3{,}835$ моль H_2O

Как следует из данных табл. 2, на испарение этого количества воды расходуется 4,283 кДж энергии. В пересчете на моль это соответствует величине 1,117 кДж/моль. Если учесть, что процесс испарения воды у композиции Л3 протекал при средней температуре 319 К, то различие в изменении энтропии ΔS_{II} композиций Л1 и Л3 составило:

$\Delta S_{II} = 1117/319 = 3{,}5$ Дж · моль$^{-1}$ · К$^{-1}$

Аналогичная величина для композиций Л1 и Л5, рассчитанная из данных табл. 2, равна:

$\Delta S_{II} = 1649{,}9/319 = 5{,}15$ Дж · моль$^{-1}$ · К$^{-1}$

Суммарное изменение энтропии воды ΔS_{II} в процессе (5) известно для очень большого числа ионов. Данные для некоторых одноатомных ионов представлены в таблице 3.

Изменения энтропии воды ΔS_{II} композиций Л3 и Л5 относительно композиции Л1, измеренные по методике, описанной в главе 2, являются величинами одного порядка с данными, представленными в табл. 3

Таблица 3

Значения энтропии ΔS_{II}, рассчитанные по уравнению (9)

Одноатомные ионы	Изменение энтропии, ΔS_{II}, Дж · моль$^{-1}$ · К$^{-1}$
H^+	-8,8
Ag^+	-0,8
Cl^-	-6,3
K^+	34,3
Br^-	27,6
Na^+	5,4

Сопоставление экспериментальных и литературных данных позволяет сделать вывод в пользу достоверности предложенной модельной схемы

В пятой главе проведен анализ заключительных стадий химических производств, с позиции ресурсо-энергосбережения и обеспечения качества целевых продуктов.

Предложены направления оптимизации технологии химических производств и аппаратурного оформления процесса сушки.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Для изучения особенностей протекания процесса сушки с физико-химическими превращениями предложен метод тождественных композиционных систем, позволяющий выделить и идентифицировать элементарный монопроцесс. Сущность метода заключается в использовании различий в релаксационных свойствах тождественных композиций.
2. Различия в релаксационных свойствах тождественных композиций проявляются в виде петли температурного гистерезиса.
3. Установлено, что площадь соответствующей релаксационной петли пропорциональна тепловому эффекту сопутствующего сушке параллельного процесса, например, кристаллизации.
4. Образование петли температурного гистерезиса является своеобразным способом "квантования" полипроцессов, то есть способом выделения дискретного монопроцесса.

Основные положения диссертации изложены в следующих работах:

1. *Лукина Н.В.* Об особенностях протекания процесса сушки композиции, имеющих в своем составе несколько компонентов / Н.В. Лукина, А.Н. Шикунов, В.А. Набатов, Б.И. Манелюк // Труды ТГТУ: сборник научных статей молодых ученых и студентов. Тамбов, - 2006. - Вып.19. - С. 236.

2. *Лукина Н.В*. Количественное определение тепловых эффектов, проявляющихся на кинетических температурных кривых в процессе сушки водных растворов NaCl / Азаров С.В., Шикунов А.Н., Набатов В.А., Манелюк, Б.И. // Сборник трудов второй международной научно – практической конференции «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности». Т. 4. 07 – 09.01.2006, Санкт – Петербург, Россия / Под ред. А.П. Кудинова, Г.Г. Матвиенко, В.Ф. Самохина. -СПб., 2006. - Изд–во Политехн. ун-та С. 2006

3. *Влияние* азодикарбонамида на кинетику сушки оптического отбеливателя - производного бистриазиниламиностильбена / Лукина Н.В. [и др.] // Сборник трудов второй международной научно – практической конференции «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности». Т. 4. 07 – 09.01.2006, Санкт – Петербург, Россия / Под ред. А.П. Кудинова, Г.Г. Матвиенко, В.Ф. Самохина. - СПб.: Изд–во Политехн. ун-та, 2006. - С..

4. *К вопросу* влияния азодикарбонамида на кинетику сушки оптического отбеливателя - производного бистриазиниламиностильбена / Н.В. Лукина, А.Н. Шикунов, Б.И. Манелюк // Новые идеи молодых ученых в науке XXI века. Сборник статей магистрантов. Выпуск IV. - Тамбов: ТОГУП "Тамбовполиграфиздат", 2006. - с. 83-86

На правах рукописи

Пугачева Елена Викторовна

РАЗРАБОТКА КАТАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ НА ОСНОВЕ СВС-ИНТЕРМЕТАЛЛИДОВ Ni И Co

Направление 150400. Технологические машины и оборудование
Магистерская программа 150400.32 –
Современные принципы аппаратурного оформления
тепломассообменных процессов

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
магистра техники и технологии

Тамбов 2006

Работа выполнена на кафедре «Химические технологии органических веществ» Тамбовского государственного технического университета, в Институте структурной макрокинетики и проблем материаловедения РАН.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ:
кандидат химических наук,
профессор **Утробин Николай Павлович**

РЕЦЕНЗЕНТ
и.о. начальника лаборатории
физикомеханических процессов **Чемерчев Леонид Николаевич**
ОАО Пигмент

ВЕДУЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ: **ИСМАН, Черноголовка**

Защита диссертации состоится «16» июня 2006 г. в 9 часов на заседании государственной аттестационной комиссии Тамбовского государственного технического университета по адресу:

392020, г. Тамбов, ул. Ленинградская, д. 1

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат подготовлен «1» июня 2006 г.

Секретарь государственной
аттестационной комиссии **Н.В. Нагайцева**

.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Из обширного числа проблем охраны окружающей среды защита воздушного бассейна от выбросов двигателей внутреннего сгорания является одной из наиболее сложных и актуальных. На их долю приходится до 50—80% от общего количества поступающей в атмосферу городов окиси углерода. Кроме того, решение проблемы затруднено рядом обстоятельств, свойственных именно этому источнику загрязнения. Среди них в первую очередь следует упомянуть чрезвычайную сложность состава отработавших газов, а также мобильность, разнообразие и большую численность двигателей внутреннего сгорания (ДВС), что исключает применение мощных комплексных стационарных очистных установок и затрудняет контроль за поступлением токсичных соединений в атмосферу. Дополнительные сложности в обезвреживании отработавших газов создает нестационарность их состава, который зависит от типа рабочего процесса, примененного в ДВС (карбюраторный или дизельный двигатель), технического состояния автотранспортного средства, вида используемого топлива (бензин, дизельное топливо, газ) и ряда других факторов.

Перспективным направлением в решении этой задачи является создание устройств для обезвреживания токсичных компонентов путем физико-химической обработки выбросов ДВС. В подобных устройствах нейтрализация (обезвреживание) достигается за счет взаимодействия токсичных компонентов между собой или с дополнительно подаваемым кислородом воздуха.

Применение разрабатываемых катализаторов даст возможность существенно повысить скорость и снизить температуру процессов нейтрализации токсичных компонентов, а в ряде случаев исключить образование нежелательных побочных продуктов, образующихся при воздействии компонентов отработавших газов с кислородом воздуха или между собой.

Цель диссертационной работы. Разработка каталитического нейтрализатора для системы нейтрализации выхлопных газов на основе СВС-интерметаллидов Ni и Co и математического описания процесса окисления пропана и монооксида углерода.

Для достижения цели диссертации были поставлены следующие **задачи**:

1. экспериментально определить каталитическую активность интерметаллидов следующего состава:

1) Ni Al 100%
2) Ni Al – CoAl 90% –10%
3) Ni Al – CoAl 80% – 20%

4) Ni Al – CoAl 70% – 30%
5) Ni Al_3 100%
6) Ni Al_3 – $CoAl_3$ 90% –10%
7) Ni Al_3 – $CoAl_3$ 80% – 20%
8) Ni Al_3 – $CoAl_3$ 70% – 30%

полученных при перегрузках 30g, 100g и 1000g, а так же без перегрузки.

2. установить влияние кислотной и щелочной обработки интерметаллидов на их каталитическую активность в процессах окисления CO и углеводородов

3. определить влияние окисления и восстановления поверхности катализатора при различных температурах на его активность

4. экспериментально определить зависимость активности катализатора от времени его эксплуатации

5. получить кинетические характеристики процессов окисления CO и углеводородов на одном из образцов интерметаллида

6. разработать математическое описание процессов окисления CO и углеводородов на интерметаллидном катализаторе, полученном методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза

7. разработать конструкцию каталитического нейтрализатора для очистки выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания от CO и углеводородов с использованием наиболее эффективного из исследуемых катализаторов

Объектом исследования являются интерметаллидные катализаторы, полученные методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза.

Предметом исследования является разработка каталитического нейтрализатора на основе интерметаллидных катализаторов, полученных методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза.

Личный вклад автора. Автором проведен литературный обзор по отечественным и зарубежным литературным источникам, проведен критический анализ достоинств и недостатков известных каталитических нейтрализаторов выхлопных газов, их конструкций и методов получения катализаторов, проведены эксперименты по определению каталитической активности катализаторов, проведена обработка результатов экспериментов, на основе экспериментальных данных составлено математическое описание процесса окисления CO и пропана на катализаторе, разработана конструкция каталитического нейтрализатора выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания с использованием интерметаллидного катализатора.

Научная новизна:

1) Впервые интерметаллидные системы состава NiAl-CoAl и $NiAl_3$-$CoAl_3$ были применены в качестве катализаторов очистки выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания от CO и углеводородов.

2) Проведены исследования каталитической активности интерметаллидных катализаторов

3) Разработана конструкция каталитического нейтрализатора очистки выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания от CO и углеводородов с использованием интерметаллидного катализатора

Практическая значимость диссертации. Разработана конструкция каталитического нейтрализатора очистки выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания от CO и углеводородов с использованием интерметаллидного катализатора, разработана методика определения каталитической активности катализаторов очистки выхлопных газов.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались на Третьей всероссийской школе-семинаре по структурной макрокинетике для молодых ученых, Черноголовка, 2005г. и Молодежной международной школе-конференции по инновационному развитию науки и техники, Черноголовка, 2005г.

Публикации. Результаты диссертационной работы легли в основу трех публикаций.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы, включающего 73 источника, и приложения. Работа изложена на 86 стр., содержит 23 рисунка и 13 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность цели диссертационной работы.

В первой главе представлены современное состояние проблемы очистки выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания от CO и **углеводородов, требования к катализаторам очистки выхлопных газов, сравнительная характеристика катализаторов, применяемых в каталитических нейтрализаторах для очистки выхлопных газов, обзор существующих конструкций каталитических нейтрализаторов для очистки выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания, обзор методов производства катализаторов, используемых в каталитических нейтрализаторах для очистки выхлопных газов.**

Во второй главе сформулирована постановка задачи исследования.

В третьей главе представлены разработанные методы синтеза интерметаллидов и анализа их каталитической активности.

Для синтеза каталитических материалов был использован экологически безопасный, малоэнергоемкий, высокопроизводительный метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС).

Синтеза интерметаллидов проводился следующим образом.

Исходные компоненты перед синтезом подвергались сушке в электрическом сушильном шкафу СНОЛ – 3,5/3 при температуре 80 ºС не менее часа.

Схема приготовления экзотермических шихт для СВС во всех случаях была следующая: дозировка, затем смешивание и заполнение форм.

Смешивание компонентов шихты проводилось в планетарном смесителе, объёмом 1,5 дм^3 в течение 15–30 мин.

Химическая схема синтеза имеет следующий вид:

$$\nu_1 NiO + \nu_2 Al_2O_3 + \alpha Al = \nu_3 Ni_x Al_y + \nu_4 Al_2O_3 + Q_2. \qquad (1)$$

Дозировка и загрузка исходных компонентов в смеситель производилась в вытяжном шкафу. После перемешивания смеси помещались в тугоплавкие формы и подвергались вибрационному уплотнению на вибростоле (Thur– 2) в течение 15–20с. Перед сжиганием смеси имели насыпную плотность ρ = 1,2–1,5 г/см^3 (в зависимости от соотношения реагентов).

Инициирование исходной шихты осуществлялось при помощи вольфрамовой спирали, а сам процесс горения происходил в атмосфере воздуха при давлении 1 атм. После сгорания шихты и остывания конечные продукты синтеза извлекались и подвергались анализу. Принципиальная схема экспериментальной центробежной СВС–установки приведена на рис. 1.

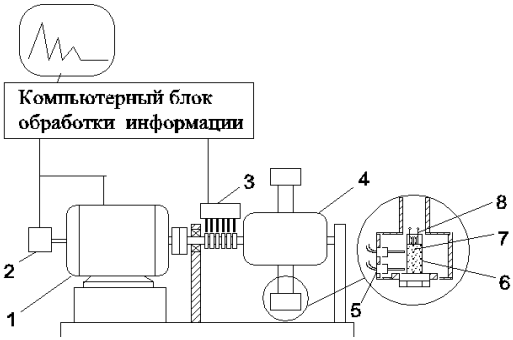


Рис. 1. Схема центробежной СВС–установки.
1 – электромотор, 2– тахометр, 3 – коллектор, 4 – ротор, 5 – фотодиоды, 6 – кварцевая форма, 7 – слоевая смесь исходных реагентов, 8 – инициирующая электрическая спираль

Для разработки каталитического нейтрализатора выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания необходимо исследовать каталитическую активность образцов интерметаллидов.

Для исследования каталитической активности была предложена установка, представленная на рис. 2.

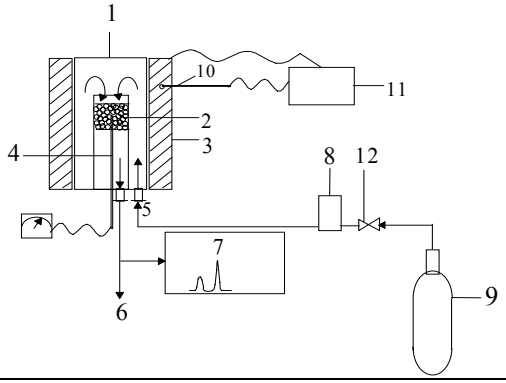


Рис. 2. Схема установки для испытания катализатора.
1 – реактор, 2 – слой катализатора, 3 – рубашка обогрева, 4 – термопара,5 – патрубок для подачи газов, 6 – патрубок для отвода газов,7 – хроматограф, 8 – ротаметр, 9 – баллон с модельной смесью газов, 10 – контрольная термопара, 11 – блок поддержания температуры реактора, 12 – регулятор расхода газовой смеси

Образец катализатора подвергается испытаниям следующим образом:

Навеска образца помещается на подложку, после чего через реактор продувается модельная смесь газов. Скорость продувки газа через реактор соответствует средним значениям скоростей газов в серийных дожигателях с монолитным блоком катализатора и достигает 120000ч$^{-1}$. Экспериментальные исследования проводили при температуре от 100 до 400-500ºС с интервалом 50ºС. Продукты реакции анализировались на хроматографе. По результатам обработки хроматограммы строились графические зависимости конверсии СО и пропана при различных значениях температуры слоя катализатора в реакторе (рис. 3).

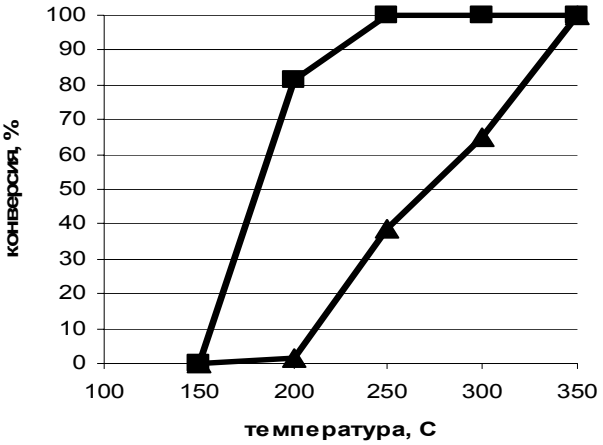


Рис. 3. Результаты оценки эффективности катализатора состава $NiAl_3$– $CoAl_3$ 20%– 80%, обработанного 20% NaOH.

– конверсия СО, – конверсия пропана

Эффективность катализатора оценивалась по значениям температур, при которых степень полного окисления (конверсия) оксида углерода (II) и пропана достигает 90 %.

В результате исследований установлено, что восстановление поверхности катализатора водородом практически не влияет на активность катализатора вне зависимости от времени обработки (с учетом потери активности катализатора). Окисление кислородом оказывает положительное воздействие на активность катализатора в процессе окисления пропана, в отношении СО положительной динамики не отмечено.

Экспериментальные исследования так же показали, что в процессе эксплуатации активность катализатора сначала снижается на 18 -20 %, а затем принимает постоянное значение.

Четвертая глава посвящена математическому описанию процесса окисления пропана и СО на катализаторе состава $NiAl_3$-$CoAl_3$ (80%-20%).

При разработке математической модели были приняты следующие допущения:

1) рассматривается реактор идеального вытеснения

2) реактор изотермический, т.е. градиенты температур параллельно и перпендикулярно оси реактора отсутствуют

3) активность катализатора постоянна

Для обеспечения режима идеального вытеснения при эксперименте выполнялись следующие условия:

1) отношение длинны слоя катализатора к диаметру частиц слоя более 50

2) отношение диаметра реактора к диаметру частиц долее 10

Кинетика окисления пропана:

Реакция окисления пропана на катализаторе можно описать следующей схемой (Z – активный центр катализатора):

$C_3H_8 + 5O_2 = 3CO_2 + 4H_2O$,

$O_2 + Z \rightarrow OZ$, (2)

$C_3H_8 + OZ \rightarrow CO_2 + H_2O + Z$,

Скорость реакции на катализаторе может быть записана в следующем виде:

$W = k \cdot [C_3H_8]^{\alpha} \cdot [O_2]^{\beta}$, (3)

где α и β – порядки реакции по пропану и кислороду соответственно; в квадратных скобках – концентрации пропана и кислорода на поверхности катализатора, которые можно выразить через доли поверхности катализатора σ, занятые молекулами этих веществ.

Эти доли можно вычислить с помощью изотермы Ленгмюра:

$$\sigma_A = \frac{b_A P_A}{1 + \sum b_i P_i}, \quad (4)$$

где b_i – коэффициент адсорбции i-го вещества,

P_i – парциальное давление i-го вещества в газовой фазе.

Тогда, в предположении, что $\alpha = \beta = 1$, уравнение скорости реакции будет иметь вид:

$$W = k \frac{b_A P_A \cdot b_B P_B}{(1 + b_A P_A)^2}, \quad (5)$$

С другой стороны скорость реакции по веществу А в реакторе идеального вытеснения можно определить, как [21]:

$$W = -n_A^0 \frac{dx_A}{S \rho dl}, \quad (6)$$

где n_A^0 – мольный расход пропана, моль/м^{3}с;

ρ – насыпная плотность катализатора кг/м^3;

S – поверхность единицы объема катализатора, м^2/м^3;

l – толщина слоя катализатора, м;

Тогда уравнение математической модели запишется в виде:

$$-n_A^0 \frac{dx_A}{S\rho dl} = k \frac{P_A \cdot P_B}{1 + BP_B{}^2}, \qquad (7)$$

где x_A – мольная доля пропана в смеси;

x_B – мольная доля кислорода в смеси;

P_A, P_B – парциальные давления в смеси пропана и кислорода соответственно, Па;

B – коэффициент, учитывающий влияние адсорбции реагентов на поверхности.

Так как содержание кислорода в смеси убывает примерно пропорционально снижению концентрации пропана (процесс окисления пропана – основной потребитель кислорода в системе), уравнение математического описания будет иметь вид:

$$-n_A^0 \frac{dx_A}{S\rho dl} = k \frac{x_A \cdot \gamma \cdot P}{1 + B \cdot x_A^2 \cdot \gamma^2 \cdot P^2}, \qquad (8)$$

где γ – коэффициент пропорциональности.

$$\gamma = \frac{x_B}{x_A}, \qquad (9)$$

Для используемой модельной смеси γ=0,167.

Проинтегрируем выражение (8), получим:

$$\int -n_A^0 \frac{dx_A}{S\rho dl} = \int k \frac{x_A \cdot \gamma \cdot P}{1 + B \cdot x_A^2 \cdot \gamma^2 \cdot P^2}, \qquad (10)$$

Разделяем переменные:

$$-n_A^0 \int \frac{1 + B \cdot x_A^2 \cdot \gamma^2 \cdot P^2 dx_A}{x_A \cdot \gamma \cdot P} = \int kS\rho dl, \qquad (11)$$

Интегрируя уравнение (11), получаем:

$$-\frac{n_A^0}{\gamma \cdot P} \ln|x_A| + B\gamma \cdot P \frac{x_A}{2} = kS\rho l + C, \qquad (12)$$

Для удобства расчета будем использовать эффективную константу скорости реакции:

$$k_{эфф} = kS\rho l, \qquad (13)$$

Произвольную постоянную интегрирования будем искать при начальных условиях:

$$\tau = 0,$$
$$l = 0, \qquad (14)$$
$$x_A = x_{A_{нач}}$$

С помощью уравнения (11) были произведены расчеты эффективной константы скорости реакции и коэффициента В. Данные расчета представлены в табл. 1.

Таблица 1

Значения $K_{эфф}$ полученные при решении уравнений модели

T, ºC	$K_{эфф}$
250	0,03
270	0,07
300	0,2

По полученным значениям эффективной константы скорости реакции строится график Рис. 5.

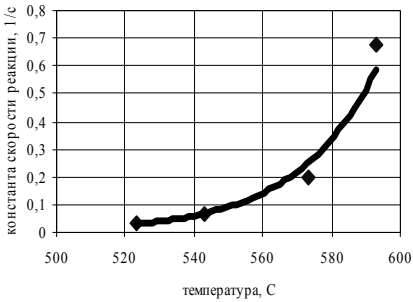


Рис. 5. Зависимость константы скорости реакции окисления пропана на катализаторе от температуры

В результате аппроксимации полученных при решении уравнения модели данных, получаем зависимость для расчета константы скорости реакции окисления пропана на катализаторе состава $NiAl_3$– $CoAl_3$ (80%– 20%).

$$k_{эфф} = 4.2 \cdot 10^{14} \cdot e^{-\frac{29647}{T}}, \qquad (15)$$

Энергия активации процесса окисления пропана составляет 2,5 МДж/моль·К, что согласуется с литературными данными [11].

Кинетика окисления монооксида углерода:

Реакция окисления монооксида углерода на катализаторе:

$2CO + O_2 = 2CO_2$,

$O + Z \rightarrow OZ$, (16)

$CO + OZ \rightarrow CO_2 + Z$,

Скорость реакции на катализаторе может быть записана в следующем виде:

$W = k \cdot [CO]^{\alpha} \cdot [O_2]^{\beta}$, (17)

где α и β – порядки реакции по CO и кислороду соответственно;

в квадратных скобках – концентрации CO и кислорода на поверхности катализатора, которые можно выразить через доли поверхности катализатора σ, занятые молекулами этих веществ.

Эти доли можно вычислить с помощью изотермы Ленгмюра

$$\sigma_A = \frac{b_A P_A}{1 + \sum b_i P_i}, \quad (18)$$

Тогда уравнение скорости реакции будет иметь вид:

$$W = k \frac{b_A P_A \cdot b_B P_B}{(1 + b_A P_A)^2}, \quad (19)$$

С другой стороны скорость реакции можно определить, как:

$$W = -n_A^0 \frac{dx_A}{S \rho dl}, \quad (20)$$

где n_A^0 – мольный расход CO, моль/м^{3}с;

ρ – насыпная плотность катализатора кг/м^3;

S – поверхность единицы объема катализатора, м^2/м^3;

l – толщина слоя катализатора, м;

Тогда уравнение математической модели запишется в виде:

$$-n_a^0 \frac{dx_A}{S \rho dl} = k \frac{P_{CO}{}^{\alpha} \cdot P_{O_2}{}^{\beta}}{1 + B P_{O_2}{}^{2}}, \quad (21)$$

где x_{CO} – мольная доля CO в смеси; x_{O2} – мольная доля кислорода в смеси; P_{co}, P_{O2} – парциальные давления в смеси пропана и кислорода соответственно; B – коэффициент, учитывающий влияние адсорбции реагентов на поверхности.

Так как содержание кислорода в смеси при горении CO остается практически постоянным, уравнение математического описания будет иметь вид:

$$-n_A^0 \frac{dx_A}{S\rho dl} = k \cdot P_{CO}^{\alpha} \cdot P_{O_2}^{\beta}, \qquad (22)$$

Проинтегрируем выражение (4.25), получим:

$$\int -n_A^0 \frac{dx_A}{S\rho dl} = \int k \cdot P_{CO}^{\alpha} \cdot P_{O_2}^{\beta}, \qquad (23)$$

Разделяем переменные:

$$-n_A^0 \int \frac{dx_A}{x_{CO}^{\alpha} \cdot x_{O_2}^{\beta} P^{\alpha+\beta}} = \int kS\rho dl, \qquad (24)$$

Интегрируя уравнение (23), получаем:

$$-n_A^0 \frac{1}{P^{\alpha+\beta} \cdot x_{O_2}^{\beta}} \cdot \frac{x_{CO}^{-\alpha+1}}{-\alpha+1} = kS\rho l + C, \qquad (25)$$

Для удобства расчета будем использовать эффективную константу скорости реакции:

$$k_{эфф} = kS\rho l, \qquad (26)$$

Произвольную постоянную интегрирования будем искать при начальных условиях:

$$\tau = 0,$$
$$l = 0, \qquad (27)$$
$$x_{CO} = x_{CO_{нач}}$$

На основе этих данных с помощью уравнения (25) были произведены расчеты эффективной константы скорости реакции. Данные расчета представлены в табл. 2.

Таблица 2

Значения $K_{эфф}$ полученные при решении уравнений модели

T, ºC	$K_{эфф}$
150	0,0039
130	0,0059
170	0,032

По полученным значениям эффективной константы скорости реакции строится график рис. 6.

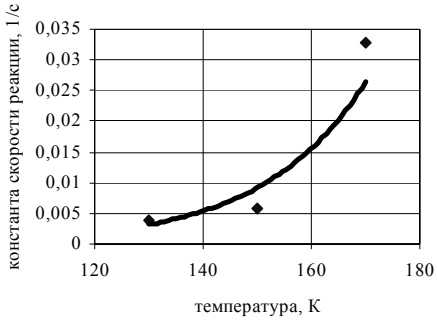


Рис. 6. Зависимость константы скорости реакции окисления СО на катализаторе от температуры

В результате аппроксимации полученных при решении уравнения модели данных, получаем зависимость для расчета константы скорости реакции окисления пропана на катализаторе состава $NiAl_3$– $CoAl_3$ (80%– 20%).

$$k_{эфф} = 3.7 \cdot 10^7 \cdot e^{-\frac{9346,5}{T}} \qquad (28)$$

Энергия активации процесса окисления монооксида углерода составляет 0,8 МДж/моль·К, что согласуется с литературными данными.

Полученная математическая модель может быть применена только для малых концентраций пропана и монооксида углерода в газовой смеси, так как при больших концентрациях выделение тепла в результате реакции очень велико, что делает невозможным обеспечить изотермичность реактора. Кинетические режимы работы не должны выходить за пределы исследуемых систем.

Пятая глава посвящена проверке адекватности полученного математического описания. Для этого были проведены дополнительные экспериментальные исследования кинетики процесса окисления пропана на катализаторе состава $NiAl_3$-$CoAl_3$ (80%-20%) при температуре в реакторе 320 ºС.

С использованием результатов этого эксперимента был проведен расчет константы скорости реакции по уравнению:

$$-\frac{n_a^0}{\gamma \cdot P}\ln\left|x_A\right| + B\gamma \cdot P\frac{x_A}{2} = kS\rho l + C\,, \qquad (29)$$

Значение константы 0,61.

А затем константа скорости реакции была рассчитана по уравнению Аррениуса:

$$k_{эфф} = 4.2 \cdot 10^{14} \cdot e^{-\frac{29647}{T}}, \qquad (30)$$

Значение константы 0,57.

Так как значения константы скорости реакции, рассчитанные по формулам (4.1) и (4.2) практически совпадают, можно сделать вывод об адекватности математического описания реальному процессу окисления пропана на катализаторе состава $NiAl_3$-$CoAl_3$ (80%-20%).

В шестой главе производится выбор конструкции и технологический расчет каталитического нейтрализатора выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания на основе катализатора состава $NiAl_3$-$CoAl_3$ (80%-20%).

Так как СВС – метод синтеза позволяет получить катализатор в форме цилиндра с радиальными каналами или порами, целесообразнее всего использовать схему каталитического нейтрализатора с радиальным течением потока очищаемого газа. Достоинством такой схемы является относительно небольшое удельное сопротивление катализатора, которое к тому же падает при увеличении длины каталитического блока, так как площадь свободного сечения каналов или пор прямо пропорциональна общей площади поверхности каталитического блока.

Конструкция представляет собой металлический корпус с закрепленным в нем катализатором, имеющим форму полого цилиндра. Для этой конструкции характерна предельная простота изготовления, относительно малые габаритные размеры и вес, что имеет большое значение в массовом производстве.

Разрабатываемый каталитический нейтрализатор будет устанавливаться в систему выхлопа автомобиля на место штатного глушителя (резонатора), чем и обусловлены габаритные размеры корпуса нейтрализатора. Корпус закрепляется в выхлопной системе с помощью фланцевого соединения. Необходимо рассчитать длину и толщину каталитического блока для обеспечения необходимой степени очистки отходящего газового потока двигателя внутреннего сгорания.

В заключении сформулированы основные выводы по диссертационной работе.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

Основные выводы по диссертационной работе состоят в следующем:

1. Определена каталитическая активность интерметаллидов различного состава

2. Оценено влияние кислотной и щелочной обработки интерметаллидов на их каталитическую активность в процессах окисления CO и углеводородов

3. Определено влияние окисления и восстановления поверхности катализатора при различных температурах на его активность

4. Определена динамика снижения активности катализатора в процессе эксплуатации

5. Определены кинетические характеристики процессов окисления CO и углеводородов на катализаторе, полученном выщелачиванием интерметаллида $NiAl_3 – CoAl_3$ (80% - 20%)

6. Составлено математическое описание процессов окисления CO и углеводородов на интерметаллидном катализаторе, полученном методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза

7. Разработана конструкция каталитического нейтрализатора для очистки выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания от CO и углеводородов с использованием катализатора, полученного выщелачиванием интерметаллида $NiAl_3 – CoAl_3$ (80% - 20%).

Материал диссертации представлен публикациями:

1. *Брыкина Е.В.* Экспериментальная установка для исследования процесса окисления выхлопных газов двигателей/Современные проблемы науки глазами будущих ученых, выпуск 3. Тамбов: издательство ТГТУ 2005, 120, с.54-56.

2. *Пугачева Е.В. Борщ В.Н. Жук С.Я., Санин В.Н.* Изучение каталитических свойств интерметаллидов Ni-Co-Al, полученных методом СВС/Третья всероссийская школа-семинар по структурной макрокинетике для молодых ученых. Тезисы докладов. Черноголовка: издательство ИСМАН 2005, 78, с.55-56.

3. *Пугачева Е.В. Борщ В.Н. Жук С.Я., Санин В.Н.* Разработка и внедрение каталитических систем нейтрализации выхлопных газов на основе СВС-интерметаллидов Ni и Co/Молодежная международная школа-конференция по инновационному развитию науки и техники. Тезисы докладов. Черноголовка: издательство ИСМАН 2005, 38, с.8-9.

Основные обозначения

ϑ_i, ϑ_j –стехиометрические коэффициенты;

n – величина создаваемой перегрузки;
a – центробежное ускорение, м/с^2;
g – ускорение свободного падения, м/с^2.
α , β – порядки реакции;
x_A – мольная доля пропана в смеси;
x_B – мольная доля кислорода в смеси;
P_i – парциальное давление i-того компонента смеси, Па;
B–коэффициент, учитывающий влияние адсорбции реагентов на поверхности;
Z – активный центр катализатора;
n_A^0 - мольный расход, моль/м^3·ч;

W – скорость реакции;
k – константа скорости реакции, $с^{-1}$;
E – энергия активации, Дж/моль·К;
ρ – насыпная плотность катализатора кг/$м^3$;
S – поверхность единицы объема катализатора, $м^2/м^3$;
l – толщина слоя катализатора, м;
γ – коэффициент пропорциональности;

Индексы

A – относящийся к пропану;
B – относящийся к кислороду;
эфф – эффективный;

На правах рукописи

Орлов Станислав Валерьевич

СИСТЕМА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Направление 210200. Проектирование и технология электронных средств
Магистерская программа 210200.05 –
Информационные технологии проектирования
электронных средств

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание степени
магистра техники и технологии

Тамбов 2006

Работа выполнена на кафедре «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем» Тамбовского государственного технического университета.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ
доктор технических наук,
профессор Муромцев Юрий Леонидович

РЕЦЕНЗЕНТ
Директор по новой технике и технологиям
ОАО «Тамбовоблгаз» Блохин Станислав Анатольевич

Защита диссертации состоится 19 июня 2006 г. в 09 часов на заседании государственной аттестационной комиссии Тамбовского государственного технического университета по адресу:
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 116, ауд. 307.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат подготовлен 17 мая 2006 г.

СЕКРЕТАРЬ
государственной
аттестационной комиссии Е.К. Кузнецова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Проблема ресурсосбережения выдвигает на передний план использование всех резервов, приводящих к снижению затрат энергии и расхода топлива. Среди множества направлений в развитии технологий энергосбережения в отдельный класс выделяются задачи оптимального управления (ОУ) динамическими режимами. Современное микропроцессорное обеспечение и информационные технологии позволяют оперативно реализовывать качественные малогабаритные системы автоматизированного управления (САУ) с помощью САПР. Реализация в таких САУ алгоритмов ОУ приводит к созданию систем оптимального управления (СОУ), и позволяет при соблюдении технологических параметров достигать уменьшения затрат энергии, топлива (в пределах 10–15%), решать задачи быстродействия, и др..

Разработка энергосберегающей системы оптимального управления представляет собой специальное научное исследование, требует больших временных и материальных затрат. Однако, для удовлетворения возрастающей потребности промышленности в такого рода автоматических системах необходима дешевая и оперативная технология их проектирования. Необходимым условием такой технологии является использование ИТ, обеспечивающей полный цикл проектирования СОУ. Как программный продукт, такая ИТ должна представлять собой гибридную экспертную систему, сочетающую в себе возможности традиционной экспертной системы (ЭС) и САПР, выполненную с учетом требований к CASE и CALS-системам по реализации сквозного проектирования. Анализ существующих средств проектирования автоматических СОУ показывает отсутствие информационных технологий, позволяющих оперативно, но с учетом индивидуальных особенностей объекта проводить необходимые этапы моделирования.

Учитывая сказанное, актуальной является задача построения ЭС, предназначенной для оперативного проектирования СОУ, и лишенной недостатков существующих систем. Реализация такой ЭС предусматривает создание базы данных, знаний и практичного пользовательского интерфейса. Постоянное развитие математического аппарата требует регулярного расширения базы знаний.

Для минимизации трудозатрат программистов и инженеров по знаниям необходимо реализовать ряд программных абстракций структурно более низкого уровня, чем компоненты целевой ЭС, и объединить эти абстракции в информационную технологию построения экспертных систем (ИТПЭС), предоставляющей программисту системообразующую платформу для создания компонентов различных ЭС (не ограничиваясь целевой).

Целями диссертационной работы являются:

- создание информационной технологии построения экспертных систем (ИТПЭС), как системообразующей платформы для разработки гибридных ЭС;
- построение на базе ИТПЭС архитектуры интеллектуальной системы решения задач энергосберегающего управления (ИСРЗОУ), как гибридной ЭС, охватывающей наиболее трудоемкий этап создания СОУ – анализ и синтез ОУ;
- создание прототипа и тестовых модулей ИСРЗОУ, осуществляющих решение простых (базовых) задач оптимального управления (ЗОУ).

Для достижения цели были решены следующие задачи:

- разработана компонентная архитектура базы данных, основанная на оригинальной модели формализации и хранения (описания) декларативных знаний (МОДЗ) и принципах объектно-ориентированного программирования и анализа;
- разработана унифицированная модель решения экспертных задач (МРЭЗ), и на ее основе универсальная архитектура базы знаний, отличительными чертами которой является разделение знаний – процедурных, конструктивных и метазнаний.
- обоснован выбор технологии разработки программного обеспечения;
- создано программное обеспечение ИТПЭС в виде ядра масштабируемой системы и программно-библиотечной среды, предлагающей программистам нижний архитектурный уровень для построения многокомпонентных гибридных ЭС.
- на базе ИТПЭС с использованием известного математического аппарата анализа и синтеза ОУ на множестве состояний функционирования, создана архитектура ИСРЗОУ, предназначенной для оперативного проектирования СОУ;
- разработаны тестовые компоненты постановки и решения простых ЗОУ, формирующие прототип ИСРЗОУ.

Используемые методы и технологии: Для архитектурного проектирования ИТПЭС и ИСРЗОУ применены теоретико-множественные модели, элементы методологии IDEF-SADT, универсальный язык моделирования UML, использована концепция стереотипного мышления. Программное обеспечение выполнено на базе платформы Java 2 Standard Edition с использованием технологии XML.

При реализации ИСРЗОУ использован метод синтезирующих переменных, элементы теории анализа и синтеза сложных систем на МСФ.

Научная новизна результатов работы заключается в следующем:

- предложена модель структурного описания и хранения декларативных знаний, относящихся к различным предметным областям;

- создана унифицированная модель решения экспертных задач, предполагающая совместное использование конструктивных, процедурных знаний и метазнаний;

- на базе перечисленных моделей осуществлена формализация элементов предметной области оптимального управления.

Перечисленные модели имеют операционный и процедурный уровни и предложены впервые.

Практическая значимость диссертации:

- разработана ИТПЭС, как программно-библиотечная среда, представляющая разработчику необходимые абстракции нижнего уровня, типовые решения интерфейса пользователя и единую оболочку для построения гибридных ЭС;

- с использованием ИТПЭС разработана архитектура ИСРЗОУ, предназначенная для анализа и синтеза ОУ;

- реализована функциональность ИСРЗОУ в области решения ряда простых задач ОУ.

Реализация работы. Отдельные элементы работы были использованы в хоздоговорных НИОКР [55-60] при создании системы поддержки принятия решений в области интеллектуальной собственности, среды для разработки Web-сайтов.

Модель базы данных, в виде программных модулей и документации, внедрена в процесс разработки программного обеспечения на предприятиях: ООО «Версия», ООО «Ланта». Оформлено два акта внедрения.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались на конференциях:

- научная конференция магистрантов, Тамбов, февраль 2005;

- II Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы информатики и информационных технологий», сентябрь 2005;

- XI научная конференция «Фундаментальные и прикладные исследования, инновационные технологии, профессиональное образование», ТГТУ, апрель 2006.

Публикации. Основные материалы диссертации изложены в семи публикациях. Работа по смежным темам (анализ и синтез открытых информационных технологий, распределенные системы, системы реального времени) отражена в восьми публикациях.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка литературы из 60 наименований и 3 приложений. Работа изложена на 138 стр., включает 4 главы и

содержит 20 рисунков. Объем дополнительного графического материала составляет 12 документов формата А1.

СОДЕРЖАНИЕ МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность цели диссертационной работы, сформулированы задачи исследования, отражена научная новизна.

В первой главе представлен обзор проблемной области оптимального управления. Рассмотрены постановки и модели задач оптимального управления, топология простых систем оптимального управления (СОУ). Выполнен анализ инструментальных средств проектирования СОУ и рассмотрена концепция оперативного проектирования. Отмечено, что проблемы оперативного проектирования объясняются:

- необходимостью привлечения сложного математического аппарата для решения широкого класса задач из предметной области;
- многообразием структур данных, определяемых особенностями решаемых ЗОУ, динамическими моделями, функционалами, состояниями функционирования объекта и прочими составляющими предметной области проектируемой СОУ;
- отсутствием комплексных и практичных программных средств моделирования СОУ.

Выявлены недостатки существующих инструментальных средств проектирования СОУ**:**

- неспособность базы знаний, основанной на знаниях процедурного типа, воспринимать многообразные данные при описании реальных объектов управления;
- низкий уровень архитектурной интеграции и повторного использования знаний модулями ЭС, решающими сходные задачи;
- отсутствие концепции преобразования данных в рамках цикла сквозного проектирования;
- невозможность совместного или повторного использования входных данных для решения множества задач, построенных на базе исходной;
- закрытая архитектура и устаревшие технологии реализации программного обеспечения.

Отмечено, что на проблемном уровне задача ИТ оперативного проектирования может заключаться в обеспечении сквозного проектирования СОУ путем получения веера вариантов при итеративном прохождении различных уровней моделирования (идентификации модели объекта, задачи оптимального управления, синтеза алгоритмического обеспе-

чения и программы управления, выбора технических и программных средств реализации СОУ).

Сформулированы требования к информационной технологии (ИТ) оперативного проектирования СОУ новой формации. Основным требованием является обеспечение возможности сквозного решения задач проектирования СОУ на таких уровнях моделирования, как:

- структурная и параметрическая идентификация модели объекта;
- анализ и синтез ОУ
- имитационное моделирование;
- разработка программного обеспечения для устройств управления;
- принятие проектных решений.

Рассмотрена модель стереотипного мышления в применении к экспертным системам, как синтез дескриптивных моделей при взаимодействии дескриптивных и прескриптивных. Отмечено, что практическим приложением описанного взаимодействия прескриптивных и дескриптивных моделей является идеология организации ЭС, основанная на двухуровневой системе дескриптивных и прескриптивных моделей. Дескриптивной моделью нижнего уровня являются неформальные представления (познания) о той или иной предметной области. Прескриптивной моделью нижнего уровня являются правила, по которым представления могут быть выражены в виде базы знаний и данных. Дескриптивная модель верхнего уровня – это базы знаний и данных, а прескриптивная модель верхнего уровня - это механизм логического вывода (метазнания), содержащий в себе правила рассуждений, вычислений, и синтеза решений.

Выполнен обзор современных нотаций моделирования сложных систем.

Сформулированы цели и поставлены задачи исследования.

Во второй главе представлена разработка концепции ИТПЭС. Сформулированы ограничения, при которых на базе ИТПЭС возможно создание ЭС:

- целевая ЭС не обладает развитым естественно-языковым интерфейсом;
- ЭС не является системой реального времени;
- предметная область может быть формализована в виде сущностей и экспертных задач;
- решение экспертной задачи может быть определено в виде процесса, базовая модель которого представлена на рисунке 1.
- входные и выходные данные могут быть представлены равноправными абстракциями;

- выходные данные одной задачи могут являться входными для другой.

Созданы и описаны с использованием теоретико-множественной нотации модели описания декларативных знаний и решения экспертных задач, являющиеся основой функционирования ИТПЭС. Сформулированы определения декларативного и решательного пространств.

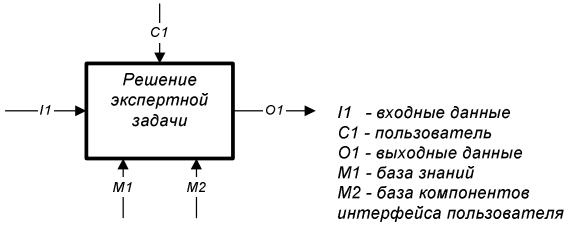


Рис. 1. Базовая модель процесса решения экспертной задачи

В рамках операционного уровня определен контекст проектируемой информационной технологии, составленный следующими подсистемами:

1. База данных (БД) – является операционным отображением декларативного пространства, и предназначена для накопления фактических сведений об исследуемых сущностях в виде декларативных знаний.

2. База знаний (БЗ) – является операционным отображением решательного пространства, и предназначена для накопления процедурных, конструктивных знаний и метазнаний, и их применения в рамках модели решения экспертных задач. БЗ также построена на основе компонентной структуры, и представлена решателями и вычислителями.

3. Базой компонентов интерфейса пользователя (БИ), содержащей визуальные компоненты, предназначенные для пользовательского доступа к КД, управления конкретными решателями, вычислителями.

4. Ядро, реализующее общие механизмы работы с данными, знаниями, интерфейсом пользователя.

С использованием диаграмм функционального моделирования IDEF-SADT детализованы и сопоставлены модулям системы основные процессы – «модификация базы данных», «решение экспертной задачи». С использованием диаграмм вариантов использования (графический язык UML) сформулировано функциональное поведение системы по отношению к пользователям.

В третьей главе представлена реализация процедурного уровня ИТПЭС. Обоснован выбор технической платформы. В качестве языка программирования и среды развертывания выбрана платформа Java 2

Standard Edition. При работе с исходными текстами использована интегрированная среда разработки Eclipse. В качестве системы поддержки контроля версий и коллективной разработки выбрана технология CVS. Важным преимуществом выбранного инструментария является возможность его коммерческого использования по бесплатным лицензиям.

Представлена архитектура системы, соответствующая разработанному в главе 2 контексту. Представлены диаграммы классов и дано описание на естественном языке.

Представлены способы расширения (в рамках дополнительных модулей) и схема развертывания ИТПЭС.

Рассмотрен типовой процесс построения ЭС на базе ИТПЭС, и представлены рекомендации по формализации предметной области.

Четвертая глава посвящена проектированию ИСРЗОУ на базе ИТПЭС. Рассмотрен контекст экспертной системы, и ее функциональное поведение по отношению к пользователям. Представлена формализация предметной области решения простых ЗОУ с использованием метода синтезирующих переменных.

Рассмотрена субархитектура разработанной ИСРЗОУ. Выполнено описание созданных компонентов базы данных, базы знаний, интерфейса пользователя.

Представлено краткое руководство пользователя.

В **приложении А** представлена проектная спецификация в соответствии с СТП и ЕСПД.

В **приложении Б** выполнен обзор оболочек построения экспертных систем. Рассмотрены как коммерческие, так и бесплатные (либо распространяемые по образовательным лицензиям) оболочки. Выявлено, что большинство оболочек используют модель представления знаний в виде систем продукционных правил.

ОСНОВНЫЕ ИТОГИ РАБОТЫ

Синтезированы оригинальные модели – МОДЗ и МРЭЗ, позволяющие формализовать широкий спектр экспертных задач (в частности, задач управления) и заключить механизмы их решения в экспертные системы. Для указанных моделей созданы декларативный, операционный и процедурный уровни. Практическая применимость и эффективность моделей доказана на примере задач оптимального управления.

Разработана ИСРЗОУ, на данном этапе развития позволяющая решать простые ЗОУ. В рамках проектирования ее архитектуры, с использованием МОДЗ и МРЭЗ, выполнена формализация предметной области ОУ.

При реализации прототипа ИСРЗОУ разработаны компоненты БД, БЗ, интерфейса пользователя, необходимые для решения простых ЗОУ и ряда ЗОУ с дополнительными ограничениями.

Перспективами дальнейшего развития работы являются:

- расширение ИСРЗОУ для решения более комплексных задач оптимального управления (сложных, с дополнительными ограничениями, на множестве состояний функционирования и пр.);
- реализация в рамках ИТПЭС других ЭС, решающих, в частности, задачи идентификации моделей динамики, поддержки принятия проектных решений, имитационного моделирования и проверки адекватности моделей, и пр., а также организация совместного использования данных этими ЭС;
- расширение системообразующих возможностей ИТПЭС.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. *Балыбин В.М., Орлов С.В.* К выбору архитектуры распределенной управляющей системы реального времени // Международная научно-техническая конференция «Информационные технологии в проектировании микропроцессорных систем» ИТ ПМПС-2000: Тезисы докладов. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. Ун-та, 2000. С. 75-76.
2. *Орлов В.В., Орлов С.В.* Автоматический синтез систем оптимального энергосберегающего регулирования // Компьютерная хроника, 2001. №5. С. 75–80.
3. *Орлов С.В.* Моделирование систем автоматического контроля и управления тепловыми объектами / Орлова Л.П., Кульков Р.В., Орлов С.В., Туренин М.В. // VI научная конференция: Материалы конференции. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2001. С. 216–217.
4. *Орлов С.В.* Web–интерфейс САПР энергосберегающего управления динамическими режимами // Сборник статей магистрантов по материалам научной конференции 15–17 февраля 2005 года. Выпуск I. Часть 2. – Тамбов: ТОГУП «Тамбовполиграфиздат», 2005. С. 20–23.
5. *Муромцев Ю.Л., Орлов С.В.* Информационная технология построения экспертных систем на моделях // Фундаментальные и прикладные исследования, информационные технологии, профессиональное образование: сб. трудов XI науч. конф. ТГТУ. В 2 ч. / Тамб. гос. техн. ун-т. Тамбов, 2006. Ч. 1. С. 172–176.
6. *Орлов С.В.* Интеллектуальная система решения задач оптимального управления // Математические методы в технике и технологиях – ММТ-19: сб. трудов XIX Международ. науч. конф. В 10-и т. Т. 10. Секция 11 / под ред. В.С. Балакирева. – Воронеж: Воронеж. гос. технол. акад., 2006. С. 241-242.
7. *Орлов С.В.* Унифицированная модель решения экспертных задач // Сборник статей студентов, бакалавров и магистрантов. Выпуск VI. Тамбов: ТОГУП «Тамбовполиграфиздат», 2006. С. 115-119.

На правах рукописи

Данилкин Сергей Вячеславович

МОДУЛЬ ПРОГРАММНЫЙ СЕТЕВОЙ ПОЛНОГО АНАЛИЗА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОМ ВТОРОГО ПОРЯДКА

Направление 210200.
Проектирование и технология электронных средств
Магистерская программа 210200.05 –
Информационные технологии
в проектировании электронных средств

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание степени
магистра техники и технологии

Тамбов 2006

Работа выполнена на кафедре «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем» Тамбовского государственного технического университета

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ:
кандидат технических наук,
доцент **Артемова Светлана Валерьевна**

РЕЦЕНЗЕНТ
Директор отдела эксплуатации
информационных технологий
филиала ОАО "МТС" г. Тамбова **Ушанев Сергей Борисович**

Защита диссертации состоится "19" июня 2006 г. в 09 часов на заседании государственной аттестационной комиссии Тамбовского государственного технического университета по адресу:
392020, Тамбов, ул. Советская, д. 116, ауд. 307

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат подготовлен «17» мая 2006 г.

Секретарь государственной
аттестационной комиссии Е.К. Кузнецова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Одной из важнейших проблем человечества является экономия энергоресурсов. Среди множества направлений в энергосбережении в отдельный класс выделяются задачи оптимального управления динамическими режимами по энергетическим критериям. Так, в химической промышленности более половины технологических процессов представлены аппаратами периодического и полунепрерывного действия, в металлургической и машиностроительной отраслях актуальны задачи оптимального управления электроприводами, энергоемкими процессами нагрева и охлаждения металла, на транспорте - задачи разгона и торможения. В настоящее время технологии энергосберегающего управления процессами нагрева, разгона и других динамических режимов находятся на исследовательской стадии. В то же время растущие возможности микропроцессорной техники и энергетические потребности производства требуют перехода к системам с более качественным уровнем управления. Желательно, чтобы кроме традиционных функций системы обеспечивали синтез оптимальных управляющих воздействий в реальном времени с экономией энергоресурсов не менее 10-40%. Назовем такие системы энергосберегающими системами управления (ЭСУ).

Как правило, разработка энергосберегающей системы оптимального управления представляет собой специальное научное исследование, требует больших временных и материальных затрат. Однако, для удовлетворения возрастающей потребности промышленности в такого рода автоматических системах необходима дешевая и оперативная технология их проектирования.

Существующие при этом проблемы объясняются неопределенностью исходных данных к задаче проектирования системы управления, а также необходимостью привлечения сложного математического аппарата для анализа и синтеза оптимального управления, в том числе совмещенного. Очевидно, что для решения этих задач необходима концепция проектирования, которая опирается на соответствующий математический аппарат и методологию его автоматизированного применения с использованием моделей знаний. В то же время анализ промышленных микропроцессорных систем управления и средств их проектирования показывает отсутствие интеллектуальных САПР и информационных технологий, позволяющих оперативно проводить все этапы разработки ЭСУ.

В последнее время во всем мире непрерывно возрастает актуальность проблемы энергосбережения. Наиболее энергоемкими являются процессы нагрева, поэтому наряду с традиционными методами ресур-

сосбережения, и классическим решением задач оптимального управления, задачи ресурсосберегающего оптимального управления являются новыми и актуальными.

Цель диссертационной работы – создание сетевого программного обеспечения для оперативного решения задач анализа и синтеза оптимального управления.

Сформулированная цель исследования достигается решением следующих **задач**:

- описание объекта управления;
- полный анализ оптимального управления динамическими объектами при функционале вида затраты энергии;
- разработка алгоритма и решения задачи синтеза оптимального управления;
- создание сетевого программного обеспечения для определения оптимального управления с использованием метода синтезирующих переменных.

Используемые методы и технологии. Для определения видов функций оптимального управления использовалось динамическое программирование, метод синтезирующих переменных, принцип минимума Понтрягина.

Научная новизна работы заключена разработке сетевого программного модуля с использованием языка PHP. Благодаря этому, с модулем возможна удаленная работа, а также решение задач оптимального управления несколькими пользователями одновременно.

Практическая значимость данного проекта состоит в возможности удаленной работы с программным модулем, а также одновременное использование его несколькими пользователями одновременно.

Публикации. Результаты диссертационной работы легли в основу трех публикаций.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованных источников, включающего 33 источников, спецификации и приложения. Работа изложена на 112 страницах, содержит 4 рисунка и 6 листов графического материала формата А1.

СОДЕРЖАНИЕ МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность цели диссертационной работы, сформулированы задачи исследования, отражена практическая значимость и научная новизна.

В первой главе произведен литературный анализ и описана постановка задачи исследования. Дана классификация систем.

Из анализа литературных источников видно, что интенсивное развитие теории оптимального управления связывают обычно с принципом максимума Понтрягина и динамическим программированием. Математическая теория оптимальных процессов, базирующаяся на принципе максимума и прилегающих к нему исследованиях, послужила теоретически обоснованной базой многих работ по анализу разнообразных прикладных задач оптимального управления, когда состояние управляемого объекта в каждый конкретный момент времени можно задавать вектором в конечномерном пространстве. При этом поведение объектов во времени должно описываться обыкновенными дифференциальными или дифференциально-разностными уравнениями. Примерно тот же круг задач управления исследовался с помощью динамического программирования. Существенным здесь является тот факт, что динамическое программирование обычно оказывалось эффективным лишь при решении задач, в которых управляемая система имеет конечное (относительно небольшое) число степеней свободы. Значительные успехи в исследовании различных задач оптимального управления конечномерными системами были достигнуты с помощью развитого Н.Н. Красовским и его учениками метода.

Одним из важнейших результатов теоретико-познавательного процесса является возможность оценивать последствия различных воздействий человека, людей или сил природы на те или иные сложные объекты или системы, способные такие воздействия воспринимать. Без этого нельзя находить правильные решения при конструировании технических устройств, технологических процессов, социально-экономических механизмов, элементов "среды обитания" человека и в других областях интеллектуальной деятельности.

Реальные системы при теоретическом исследовании представляют в виде моделей, имеющих некое формальное описание, чаще всего - математическое. Правомерность выбора модели подтверждается адекватностью реакций реальной системы и модели на воздействия одинакового вида.

Математическая модель системы дает возможность найти зависимость между некоторым входом g (внешним воздействием) и выходом y (реакцией). Внешние воздействия и реакции могут описываться при этом функциями непрерывного времени t или дискретного времени n и имеют вид $y(t) = y(t, g)$ или $y(nT) = y(nT, g)$, где $g = g(t)$ или $g = g(nT)$; T - период дискретности, $n = 0, 1, 2, \ldots$.

В качестве пробного воздействия при исследовании удобно использовать, например, единичную ступенчатую функцию $g(t) = 1(t)$ или $g(nT) = 1(nT)$. Реакция системы на подобное скачкообразное воздействие в общем случае не является скачкообразной и описывается более

гладкой функцией. Вид такой функции y(t) или y(nT) характеризует динамические свойства системы, а саму систему, обладающую динамическими свойствами, называют динамической.

Таким образом, в динамической системе воздействие и реакция являются функциями времени, причем текущее значение реакции определяется не только текущим, но и предыдущими значениями воздействия, т.е. система обладает некоторой "памятью", инерционностью. Математической моделью динамической системы служит неоднородное дифференциальное или разностное уравнение, левая часть которого записана относительно реакции, а в правую часть входит внешнее воздействие.

В одном из возможных определений под динамической системой понимается структура, в которую в определенные моменты времени вводится нечто (вещество, энергия или информация) и из которой в какие-то моменты времени выводится что-то. Она служит для описания причинно-следственных связей из прошлого в будущее.

Во второй главе содержится математическое описание программы, произведен анализ предметной области.

Одной из наиболее сложных проблем, с которой сталкивается инженер, является проблема адекватного математического описания физического процесса или системы. Если процесс прост, то уравнения, описывающие процесс, получаются непосредственно. Однако в общем случае это невозможно, и хорошее математическое описание процесса можно получить только в результате большого количества экспериментов. Обычно экспериментатор прикладывает известные входные сигналы и наблюдает получающиеся выходные сигналы. В результате таких экспериментов и априорных теоретических знаний получаются соотношения, связывающие доступные для наблюдения выходные сигналы и допустимые входные сигналы системы.

Довольно часто результатом экспериментов над системой с одним входом и одним выходом является линейное дифференциальное уравнение, связывающее ее выход y(t) со входом u(t) в виде

$$\left\{D^n + a_{n-1}D^{n-1} + \ldots + a_1 D \quad + a_0\right\} y(t) = b_0 u(t),$$

где символ обозначает дифференцирование по времени. Если система адекватно описывается дифференциальным уравнением, то в теории регулирования обычно говорят, что система имеет передаточную функцию

$$G(s) = \frac{y(s)}{u(s)} = \frac{b_0}{s^n + a_{n-1}s^{n-1} + \ldots + a_1 s + a_0},$$

где y(s) - преобразование Лапласа от выхода y(t) и
u(s) - преобразование Лапласа от входа u(t).

Задача получения адекватных соотношений между входом и выходом на основе эксперимента особенно сложна для линейных систем. Необходимо подчеркнуть, что в процессе эксперимента получаются соотношения (обычно в виде набора дифференциальных уравнений) между сигналами, прикладываемыми к входам и наблюдаемыми на выходах.

Для большинства физических систем желаемая цель может быть достигнута с помощью различных допустимых входов, дающих различные переходные процессы. Необходимо рассчитать каждый из них и, если возможно, выбрать наилучший. Это обстоятельство требует некоторого критерия (или функционала). Функционалы, которые будут использоваться для измерения "стоимости" управления системой, принимают действительные значения и зависят от состояний, соответствующих началу и концу управляющих действий; траектории движения системы от исходного до конечного состояния; времени, в течение которого прикладывается управление, и используемого закона управления.

Задачей оптимального управления системой по отношению к множеству S, функционалу преобразования J(x0, t0, u) множеству допустимых управлений U и начальному состоянию x0 в момент времени t0 является отыскание управления u из U, минимизирующее функционал J(u). Другими словами, задачей оптимального управления является следующее.

Заданы: динамическая система; начальное состояние x0; начальное время t0; множество S; область допустимых управлений U.

Найти: управление u из U, минимизирующее функционал J(u)=J(x0,t0,u).

Любое управление u*, дающее решение задачи оптимального управления, называют оптимальным управлением. Существование оптимального управления не является необходимым. Действительно, в U может вообще не оказаться управлений u. С другой стороны, может оказаться несколько оптимальных управлений.

Задача оптимального управления состоит в том, чтобы найти управление u*, минимизирующее заданный функционал преобразования J(u). Так как задача оптимального управления является задачей минимизации, то необходимо отыскивать экстремумы. Результаты минимизации используются для получения классического принципа минимума. Этот принцип служит основой развития известного принципа минимума Понтрягина, который и дает необходимые условия оптимальности. Принцип максимума Понтрягина - мощный метод решения задачи оптимального управления (ЗОУ) при ограничении на управление.

Исследование процессов нагрева показывают, что при использовании модели динамики, представленной в кусочно-линейной форме, одна или несколько зон описываются инерционным объектом второго порядка. Сформулируем задачу оптимального управления на множестве состояний функционирования (МСФ) применительно к следующей, ставшей классической, задаче.

Объект, описываемый дифференциальными уравнениями

$$\begin{cases} \dot{z}_1 = z_2(t), \\ \dot{z}_2 = az_1(t) + bu(t), \end{cases} \quad t \in [t_0, t_{\hat{e}}]$$

необходимо перевести из начального состояния в конечное

$$z(t_0) = z^0 \to z(t_{\hat{e}}) = z^{\hat{e}}$$

при ограничении на управление

$$\forall t \in [t_0; t_{\hat{e}}] \; : \; u(t) \in [u_{\acute{i}}; u_{\hat{a}}]$$

и минимуме функционала

$$J = \int_{t_0}^{t_{\hat{e}}} u^2(t)dt \to \min \cdot$$

Этой задаче соответствует массив реквизитов (a, b, t_o, t_k, z_o, z_k, $u_н$, $u_в$), где a и b - параметры объема управления, z_o и z_k - начальное и конечное его состояния вектора фазовых координат, $u_н$ и $u_в$ - нижняя и верхняя границы управления. Пусть способ формирования управления, или характер отображения переменных ЗОУ в значения управления в каждый момент времени может осуществляться по программной - $S_{пр}$ стратегии управления.

Оптимальное управление u*(t) при стратегии $S_{пр}$ для реквизитов задачи имеет вид функции времени, т.е.

$u^*_{пр}(t)=S_{пр}(t/k)$, $t_o<=t<=t_k$,

где $S_{пр}$ - синтезирующая функция программного управления.

В процессе эксплуатации системы оптимального управления компоненты массива k могут изменяться из-за изменения производственных ситуаций, внешних воздействий, нарушения работоспособности частей системы и т.д.

Обозначим через (α, β, τ_o, τ_k, ζ_o, ζ_k, $\omega_н$, $\omega_в$) множества значений соответственно реквизитов (a, b, t_o, t_k, z_o, z_k, $u_н$, $u_в$), которые могут изменяться на интервале управления. Для учета данного обстоятельства ЗОУ необходимо рассматривать на множестве состояний функционирования. Тогда МСФ, обозначим его H, представляет собой подмножество декартова произведения этих множеств, т.е.. $H \in \alpha \times \beta \times \ldots \times \omega_в$. Элементами H являются значения переменной состояния функционирования h. Изме-

нения h обычно происходят в случайные моменты времени. Будем полагать, что функция h(t) кусочно-постоянная, значение переменной h в текущий момент времени известно, следовательно, известны и реквизиты ЗОУ, соответствующие значению h.

Таким образом, в момент времени $t \in [t_{oh}, t_{kh}]$ при состоянии решается ЗОУ

$$\begin{cases} \dot{z}_1 = z_2(t), \\ \dot{z}_2 = a_h z_1(t) + b_h u(t), \end{cases} \quad t \in [t_{0h}, t_{êh}];$$

$$z(t_{0h}) = z_h^{\,0} \rightarrow z(t_{êh}) = z_h^{\,ê};$$

$$\forall t \in [t_{0h}; t_{êh}] \;:\; u(t) \in [u_{íh}; u_{âh}];$$

$$J = \int_{t_{0h}}^{t_{êh}} u_h^{\,2}(t)dt \rightarrow \min \cdot$$

Рассматривается решение данной задачи, которое производится на основе предварительного исследования возможных синтезирующих функций и построения областей их существования, т.е. полного анализа ОУ на МСФ, а также получение программ управления для микропроцессорных устройств, т.е. оперативного синтеза ОУ на МСФ.

Предлагаемая методика полного анализа ОУ на МСФ включает следующие этапы:

- получение условий управляемости на МСФ;
- определение возможных видов функцией ОУ u(t/h), hOH;
- введение базовой задачи на МСФ;
- введение синтезирующих переменных;
- построение и анализ областей существования видов ОУ в пространстве синтезирующих переменных базовой ЗОУ;
- разработка алгоритмов расчета параметров ОУ.

Традиционная последовательность расчета ОУ для заданных условий задачи предполагает подстановку в интегральное уравнение одного из видов U(t), расчет параметров ОУ решением системы уравнений; если решение для одного вида не существует, то переходят к следующему виду ОУ, и т.д. Такой подход к синтезу ОУ может быть реализован лишь на основе управляющей ЭВМ и требует значительных затрат машинного времени. По результатам полного анализа ОУ на МСФ решение задачи оперативного синтеза управления u*(t/h) для нового состояния h может производиться следующим образом:

- определяются реквизиты ЗОУ для момента переключения;

- с использованием массива реквизитов по формулам рассчитываются реквизиты базовой задачи и значения синтезирующих переменных;
- проверяется выполнение условий существования решения ЗОУ при полученных реквизитах;
- если решение ЗОУ существует, то по значениям синтезирующих переменных определяется вид функции ОУ;
- для выделенного вида управления рассчитываются параметры U(t) ЗОУ.

В соответствии с постановкой задачи оперативного синтеза ОУ время выполнения этих операций не должно превышать Δt. Для большинства практических задач это требование выполняется, так как на всех операциях расчеты производятся по конечным формулам. Повышение оперативности синтеза ОУ может быть достигнуто за счет совершенствования поиска вида функции u(t). Для сокращения времени на поиск предварительно выделяются возможные виды ОУ, которые могут иметь место на МСФ.

В третьей главе находится описание программного модуля и пользовательского интерфейса, а также методов, использованных при разработке приложения.

Основной программный код модуля написан на скриптовом языке PHP с использованием языка разметки гипертекстовых документов HTML и применением сетевых технологий для создания доступа к модулю через сеть Internet.

Для разработки модуля использовался гипертекстовый препроцессор PHP (Hypertext Preprocessor) - крайне популярный сценарный язык общего назначения, и это не смотря на то, что создавался специально для веб-разработок. В основе своей имеет синтаксис очень похожий на синтаксис C, Java и Perl, однако проще этих языков. Имеет открытый исходный код.

Чаще всего PHP сценарии встроены в HTML-разметку внутри специальных тегов <?php ?>. Во время запроса документа, имеющего PHP сценарии, на сервере происходит выполнение кода, а пользователь получает в браузер "чистый" HTML. Таким образом, PHP сценарии решают все те задачи, которые характерны для типичных CGI-приложений.

Пользовательский интерфейс модуля представлен на рисунке 1.

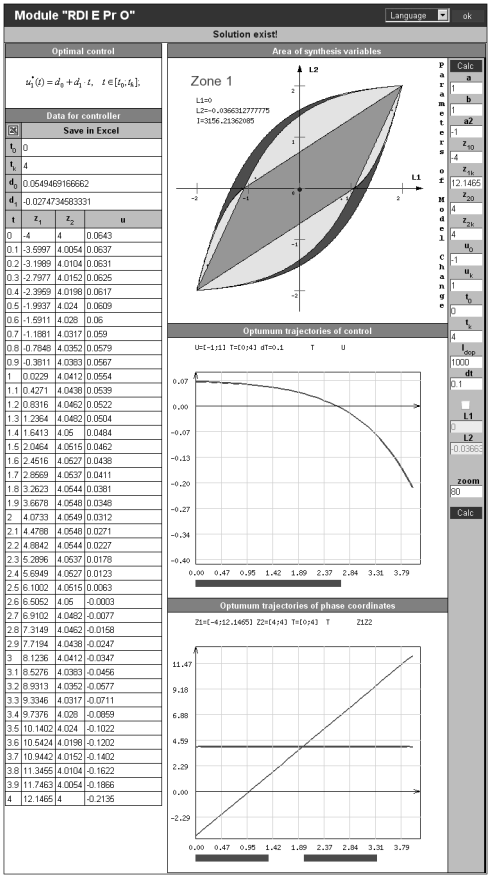


Рис. 1. Интерфейс программного модуля экспертной системы

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

Результатом данной магистерской диссертации является сетевой программный модуль полного анализа оптимального управления объектом второго порядка.

Данная разработка позволит выполнять совместную работу нескольким пользователям одновременно, не зависимо от их географического положения.

В работе были решены следующие задачи:

- описан объект управления;
- произведен полный анализ оптимального управления;
- разработан алгоритм и решение задач синтеза оптимального управления;
- разработаны методы и алгоритмы оперативной идентификации зонной модели объекта дифференциальными уравнениями;
- создано программное обеспечение для определения оптимального управления с использованием метода синтезирующих переменных.

Практическая значимость данного проекта состоит в возможности удаленной работы с программным модулем, а также одновременное использование его несколькими пользователями одновременно.

Разработанный программный продукт может быть внедрен на предприятиях и кафедрах, занимающимся исследованиями в области энергосбережений.

Материал диссертации представлен несколькими публикациями:

1. *Данилкин С.В., Осипов Е.В.* Сетевая база данных учебно-методических работ УМО // Сборник статей магистрантов по материалам научной конференции 15-17 февраля 2005 года. Выпуск I. Часть 2. – Тамбов: ТОГУП «Тамбовполиграфиздат», 2005. – 148с.

2. *Данилкин С.В.* Программный модуль энергосберегающего управления // Инновации в мире Российской науки XXI века. Сборник статей магистрантов. Выпуск II. – Тамбов: ТОГУП «Тамбовполиграфиздат», 2005. – 160с.

3. *Данилкин С.В.* Модуль экспертной системы энергосберегающего управления // Современные проблемы науки глазами будущих ученых. Сборник статей магистрантов. Выпуск II. – Тамбов: ТОГУП «Тамбовполиграфиздат», 2005. – 120с.

На правах рукописи

Маняхин Илья Михайлович

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СУСПЕНЗИЙ С УГЛЕРОДНЫМИ НАНООБЪЕКТАМИ МЕТОДОМ КОНДУКТОМЕТРИИ

Направление 210200. Проектирование и технология
Электронных средств
Магистерская программа 210200.08 –
Элементы и устройства электронно-вычислительных средств

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени магистра
техники и технологии

Тамбов 2006

Работа выполнена в Тамбовском государственном техническом университете на кафедре «Материалы и технология»

Научный руководитель**:** Кандидат технических наук, доцент
Шелохвостов Виктор Прокопьевич**;**

Защита диссертации состоится 21 июня 2006 г. в 10 часов на заседании государственной аттестационной комиссии Тамбовского государственного технического университета по адресу: г. Тамбов, ул. Мичуринская, 112, ТГТУ, аудитория 109А.

.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Тамбовского государственного технического университета.

Автореферат подготовлен 20 июня 2006 г

Секретарь государственной
аттестационной комиссии **Н.В. Федорова**

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В настоящее время известно множество наноматериалов, существуют методы контроля их свойств: метод комбинационного рассеяния, электронной микроскопии и др. Однако, влияние нанообъектов на содержащие их среды сейчас изучено недостаточно. Работы, затрагивающие данную тематику, содержат мало фактического материала.

В связи с выше сказанным актуальность работы определяется разработкой методики измерения свойств суспензий с углеродными нанообъектами высокого разведения.

Цель работы. Разработка метода измерения свойств суспензии с углеродными нанообъектами.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

- разработка методики кондуктометрического анализа;
- экспериментальные исследования суспензий, содержащих углеродные нановолокна с помощью разработанного метода;
- разработка математической модели прохождения тока через суспензию.

Предмет исследований. Водные суспензии с углеродными нанообъектами.

Методы и методики исследований. Результаты исследований базируются на кондуктометрическом способе определения концентраций в растворах высокого разведения, оптическом и электронно-оптическом исследованиях структуры углеродных нанотрубок и нановолокон, проведенных на кафедре «Материалы и технологии» ТГТУ.

Научная новизна диссертационной работы заключается в разработке метода идентификации углеродных объектов.

Практическая ценность работы заключается в прямом использовании разработанной методики для идентификации наноразмерных объектов.

Апробация работы. Основные результаты работы доложены на научно-технических конференциях ТГТУ в 2005 – 2006 гг.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 2 работы.

Структура работы. Диссертация содержит введение, 4 главы, заключение, выводы по работе, публикации по работе.

СОДЕРЖАНИЕ МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цели и задачи работы. Раскрыта научная новизна и практическая ценность, приведены результаты апробации и реализации работы.

В первой главе приведен обзор и классификация существующих наноматериалов. Рассмотрены технологические процессы, методы исследования и контроля свойств нанообъектов методами спектроскопии, электронной микроскопии высокого разрешения, рентгеноструктурного анализа, туннельно-зондовой микроскопии (в том числе — сканирующей, атомно-силовой и т.д.). Приведен обзор существующих методов кондуктометрии.

В этой связи в работе были поставлены следующие задачи:

- разработка оперативного и простого в реализации кондуктометрического метода измерения свойств суспензий с углеродными нанообъектами;
- экспериментальное исследование свойств среды, содержащей углеродные нановолокна, с использованием разработанной ме6тодики;
- разработка математической модели кондуктометричсеского метода и проверка ее адекватности.

Вторая глава определяет исходные (используемые) материалы и сведения о разработанных и о примененных методиках исследований.

В исследованиях использовали нанотрубки, которые были синтезированы на кафедре Материалы и технологии ТГТУ методом пиролитического осаждения. Метод включает получение катализатора (Ni, Mg)O из их нитратов разложением при 500^0C, последующий синтез углеродных нанообъектов (нановолокна) с использованием катализатора при пропускании углеродсодержащего газа (пропан) через кварцевый реактор при температуре 600^0C (время синтеза -15 минут, абсолютный выход - 0,5 – 0,8 грамма, соотношение катализатор –углеродные продукты 1:3). Продукты синтеза обрабатывали раствором кислот (HCl, HNO_3) для удаления катализатора, диспергировали для разрушения конгломератов, извлекали осадок и исследовали в электронном микроскопе (микроскоп ЭМВ-100А, угольные пленки в качестве основы, увеличение 20000 – 200000^X), типичные углеродные нановолокна показаны на рисунке 1

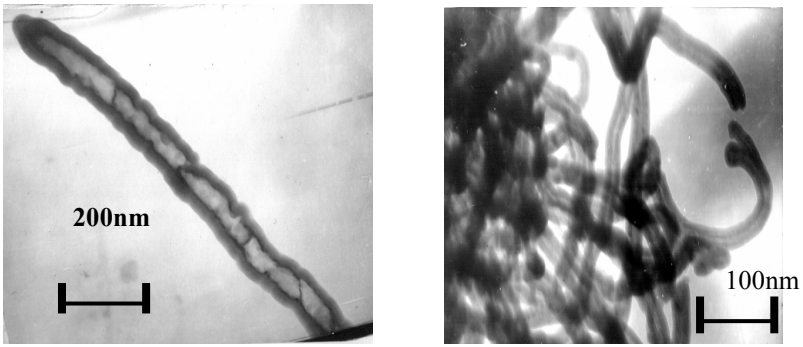


Рис. 1. Фотографии углеродных нанообъектов

В этой же главе приводится разработанная методика кондуктометрического измерения свойств водных суспензий, содержащих углеродные нановолокна. Показаны: подготовка объекта исследований (суспензии); проведение измерений; техника подготовки исследуемых образцов (потенцирование).

Для приготовления суспензии использовалась специально приготовленная колба объемом 30 мл, куда помещалась выбранная навеска углеродных нанотрубок и смешивалась с 10 мл дистиллированной воды. Полученная суспензия подвергалась диспергированию путем интенсивного встряхивания в течении 5 минут. Диспергирование проводилось с целью получения равномерного распределения нанообъктов в объеме суспензии.

Полученная суспензия делилась на две равные части, одна из которых использовалась для последующих измерений и отливалась в специально приготовленную кювету, а другая применялась для приготовления новой суспензии большего разведения. Новая суспензия большего разведения получалась путем разбавления оставшейся половины суспензии дистиллированной водой до прежнего объема. Таким образом, в результате получалась новая суспензия концентрация нанотрубок в которой была в два раза меньше, чем в предыдущей. Исследования проводились до сотого разбавления.

Третья глава Посвящена описанию проведения эксперимента и анализу полученных результатов. Кондуктометрические измерения полученных суспензий проводились в специально подготовленной кювете из кварцевого стекла. При температуре окружающего воздуха 20^0С, нормальном давлении н влажности 40-50%.

В качестве электродов использовались два отрезка платиновой проволоки длиной 50 мм, жестко закрепленные на противоположных концах кюветы, на расстоянии 20 мм друг от друга. Измерения проводились на установке, собранной в лабораторных условиях, схема установки показана на рисунке . На электроды подавалось напряжение 10 В с источника напряжения, в качестве которого использовался прибор Б5-9.

Перед проведением измерений электроды прокаливались на пламени спиртовки с целью избежать попадания лишних нанотрубок в исследуемую суспензию. Кювета тщательно мылась кальцинированной содой в проточной воде, после чего ополаскивалась дистиллированной водой. Затем в кювету выливалась предназначенная для измерений часть полученной суспензии.

Измерения состояли в снятии значений электрического тока, протекавшего через исследуемую суспензию. Значения снимались

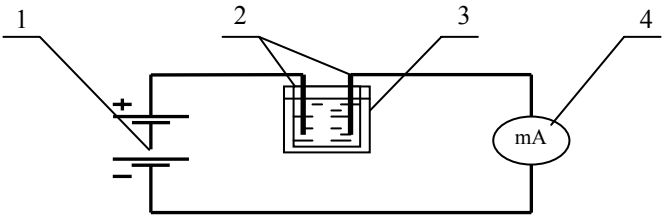


Рис. 2. Схема кондуктометрической установки. 1- источник тока; 2 - платиновые электроды; 3 – кювета; 4 – миллиамперметр

через каждые 2 минуты в течение 40 минут.

Исследования проводились для суспензий с нулевого по сотое разбавления. Для суспензий с 0—30-е разведения исследования проводились для каждого 10-го разведения, с 30—40-е для каждого 2-го разведения, с 40—100-е для каждого 3-го разведения.

Исследования проводились для навесок в 0,2 г и 0,1 г, а также для дистиллированной воды с целью устранения погрешностей.

Анализ полученных графиков показал, что общей чертой приведенных кривых зависимостей тока от времени является нарастание в течение первых 6—15 минут и дальнейшая стабилизация. Так как временные зависимости не дают четкого представления об изменеиии тока в зависимости от количества разведений, то были построены зависимости среднего тока от числа разведений. Анализ этих зависимостей показал, что с увеличением числа разведений средний ток, протекающий через суспензию падает. Однако, было замечено, что при 30—70 разве-

дениях наблюдаются резкие увеличения тока, что можно интерпретировать как резонансные явления в суспензиях высокого разведения.

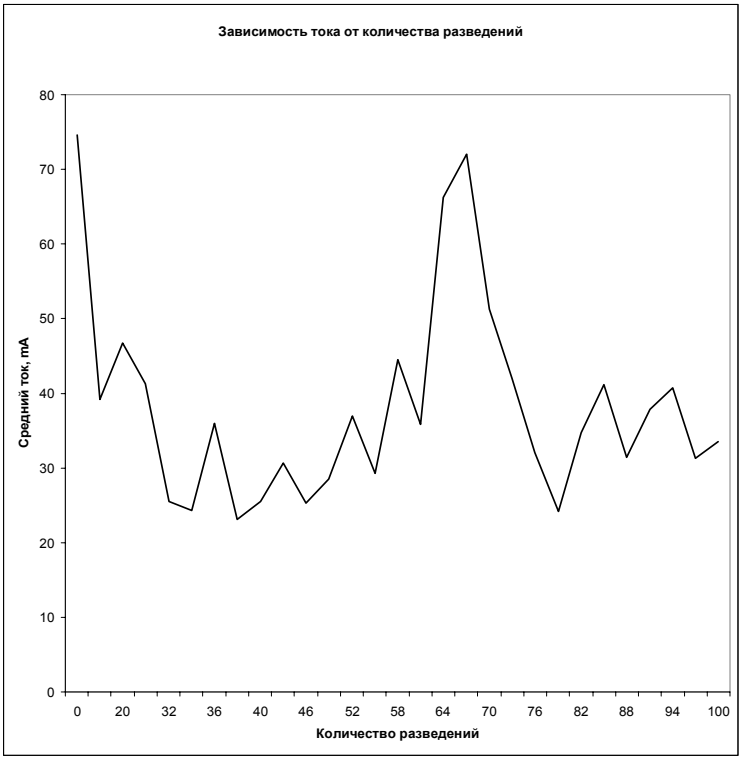


Рис. 3. График для навески в 0,1 г

В четвертой главе приводятся основные выкладки построения математической модели процесса протекания тока через суспензию. Суспензию рассматривали как кластерную структуру с приложенным напряжением $V=const$, которое для простоты считали падающим лишь на барьерах (положительный полюс источника присоединен к правому электроду, рис. 4б). Найдем ток в отрицательном направлении оси z, вызванный изменением ширины квантовой ямы W.

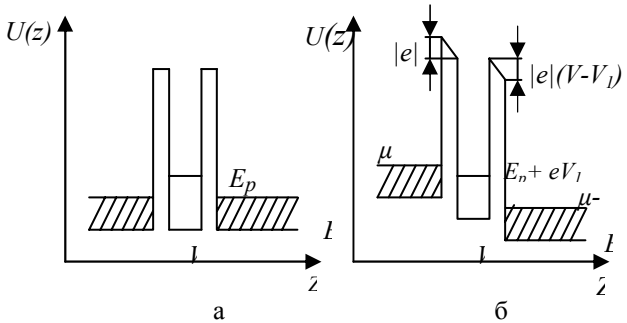


Рис. 4. Модельное представление энергетической диаграммы кластерной воды без напряжения на электродах (а) и с напряжением V (б)

$$I = -eS\int_0^{p_F}\frac{\hbar k_z}{m}|D(k_z)|^2\frac{2\pi(p_F^2-\hbar^2k_z^2)\hbar dk_z}{(2\pi\hbar)^3} \qquad (1)$$

Здесь S — площадь сечения структуры, $|D(k_z)|^2$ —коэффициент прохождения частицы через нее.

Выражение (1) определяет условия резонансного прохождения частицы через квантовую структуру. Учитывая, что:

$$|D^2|\approx\frac{4|D_1D_2|}{(|D_1|^2+|D_2|^2}\cdot\frac{\hbar^2/\tau_n^2}{(E-E_n)^2+\hbar^2\tau_n^2} \qquad (2)$$

где τ_n – время релаксации квазистационарного состояния с номером n, D_1 и D_2 – коэффициенты прохождения барьеров.

Перейдем интегрироваиию по энергии $E=(\hbar k_z)^2/(2m)$. Учтя, что $V_1=V/2$, $|D_1|=|D_2|$ (строго говоря, если барьеры одинаковы в отсутствие напряжения, то при $V\neq 0$ $D_1(E)\neq D_2(E)$ из-за разности высот барьеров), с учетом, что $E_n=E_p+eV_1$ и $\hbar/\tau_n \to 0$,получим:

$$I=\frac{|e|mS}{4\pi\hbar^2\tau_n}\left[\begin{array}{l}\left(\mu-E-\frac{eV}{2}\right)\left(arctg\frac{\mu-E-eV/2}{\hbar/\tau_n}+arctg\frac{E+eV/2}{\hbar/\tau_n}\right)- \\ -\frac{\hbar}{2\tau_n}\ln\frac{(\mu-E+eV/2)^2+(\hbar/\tau_n)^2}{(E+eV/2)^2+(\hbar/\tau_n)}\end{array}\right] \quad (3)$$

Формула (3) является моделью прохождения тока через кластерную среду. График зависимости тока *I* от энергии *E* показаны на рисунке 5.

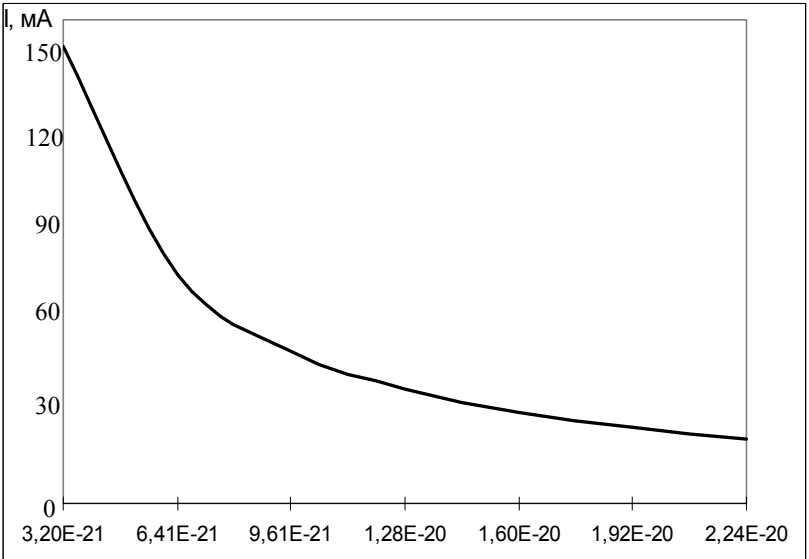


Рис. 5. Расчетная зависимость *I(E)*

Полученный график является ожидаемой зависимостью уменьшения проводимости от количества объектов обеспечивающих электропроводность, и может использоваться для прогнозирования зависимости значений тока от количества разбавлений.

Эти значения могут использоваться как точки отсчета для обнаружения аномальных резонансных увеличений тока при критических концентрациях (разведениях). Анализ полученных экспериментальных и расчетных данных показывает хорошую воспроизводимость и совпадение.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

Проведен обзор существующих наноматериалов, методов контроля их качества и анализ методов кондуктометрии, позволивший выбрать метод кондуктометрии и поставить задачи исследования.

Разработана методика кондуктометрического измерения свойств суспензий с нанобъктами, включающая: подготовку суспензии с углеродными нанообъектами, метод ее исследования путем измерения электропроводности по току.

Проведены экспериментальные исследования суспензий, содержащих углеродные нановолокна с использованием разработанной методики. Показано, что с уменьшением числа разведений электрпроводность с уменьшением концентрации нанообъектов уменьшается, но были отмечены аномальные увеличения тока при 40—70 разведениях, повидимому связанные с резонансными явлениями в среде.

Разработана математическая модель кондуктометрических исследований водных суспензий. Показано, что модель описывает ожидаемое изменение электропроводности с уменьшением концентрации объектов, обеспечивающих проводимость, без учета резонансных явлений.

Предложен метод обнаружения углеродных нанообъектов в суспензиях по резонансным явлениям.

Материалы диссертации представлены публикациями:

1. *Маняхин И.М., Шелохвостов В.П.* Способ создания зазора в методе НПВО// Сб.ст.магистр. Вып 1.Ч.2.-Тамбов:ТОГУП, 2005.- 59-61 с.

2. *Маняхин И.М.* Установка для реализации метода резонансной спектроскопии // Новые идеи молодых ученых в науке XXI века , ТГТУ,-2006.-113-114 с.

На правах рукописи

Немтинова Юлия Владимировна

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ИНВЕСТИЦИОННОГО ПРОЕКТА ПРИ РАЗМЕЩЕНИИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ (НА ПРИМЕРЕ ХИМИЧЕСКИХ И МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ)

Направление 080500. Менеджмент
Магистерская программа 080500.06 –
Производственный менеджмент

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание степени
магистра менеджмента

Тамбов 2006

Работа выполнена на кафедре «Экономика и управление» Тамбовского государственного технического университета

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ ПРОГРАММЫ:
доктор технических наук, доктор экономических наук,
профессор **Герасимов Борис Иванович**

РЕЦЕНЦЕНТ
Зав. кафедрой «Экономика и
управление» ТГТУ
к.э.н., профессор **Романов Анатолий Петрович**

ВЕДУЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ: ОАО «Пигмент», г. Тамбов

Защита диссертации состоится « 16 » июня 2006 г. в 10:00 часов на заседании Государственной аттестационной комиссии Тамбовского государственного технического университета по адресу:
392000, Тамбов, ул. Советская, д. 106, ауд. _____

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат подготовлен « 10 » июня 2006 г.

Секретарь Государственной
аттестационной комиссии **О.В. Швадченко**

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность и состояние проблемы. Проблемы инвестиционной деятельности промышленных предприятий, оценки эффективности инвестиций всегда привлекали к себе внимание экономистов различных школ и направлений экономической науки.

Теоретические и практические основы инвестиций промышленного предприятия, показателей оценки их эффективности рассматриваются в работах как отечественных, так и зарубежных ученых. Среди отечественных авторов следует назвать работы В.Н. Богачева, П.Г. Бунича, В.Н. Егизаряна, В.В. Коссова, В.Н. Лившица, М.А. Лиматовского, И.В. Липсица, А.Л. Лурье, Д.С. Львова, В.В. Навожилова, Т.С. Хачатурова и др.

Среди зарубежных экономистов следует отметить таких ученых как М. Бромвич, С. Беренс, Ю. Блех, Г. Бирман, Дж. Ван Хорн, У. Гетц, Дж. Кейнс, П. Массе, П. Хавранек, Р. Холт, Я. Хонко, У. Шарп, С. Шмидт и др.

В условиях становления рыночных отношений отдельные стороны проблемы исследуют В.Д. Андрианов, И.Т. Балабанов, Ю.В. Богатин, А.В. Воронцовский, Б.И Герасимов, Л.Т. Гитляровская, В.В. Ковалев, Т.В. Теплова, В.А. Швандар, А.Д. Шеремет, В.М. Юрьев, и другие авторы. Несмотря на это, многие вопросы инвестиционной деятельности промышленного предприятия и оценки качества инвестиционного проекта недостаточно полно освещены. Значительное число существующих теоретических разработок имеют разную целевую направленность, и зачастую не позволяют составить целостную картину об инвестициях промышленных предприятий, показателях оценки их эффективности. Сегодня в экономической литературе нет единства мнений в отношении методов и показателей оценки эффективности инвестиций, нерешенными остаются вопросы оценки качества инвестиционных проектов промышленных предприятий в условиях рыночного ведения хозяйства. Имеет место и ряд других нерешенных проблем.

Цель диссертационной работы. Целью работы является разработка методологических основ оценки качества инвестиционного проекта при размещении технических систем (на примере химических и машиностроительных производств).

Для достижения поставленной цели в работе решены следующие задачи:

- разработан подход к оценке качества инвестиционного проекта промышленных производств с учетом экономических, технологических и экологических их особенностей и особенностей территории их размещения;

- предложены модели принятия решений подзадач, входящих в систему оценки качества инвестиционного проекта:

  - оценки технологических процессов получения целевой продукции;

  - оценки производств по обезвреживанию газообразных и жидких отходов;

  - оценки инвестиционной целесообразности реализации проекта.

Объектом исследования являются экономические и экологические процессы развития субъектов Российской Федерации и технологические процессы производств целевой продукции и обезвреживания отходов технических систем (на примере химических и машиностроительных производств).

Предметом исследования являются математические методы и модели, лежащие в основе оценки качества инвестиционного проекта при размещении технических систем.

Личный вклад автора. Автору принадлежат: анализ информации о существующих подходах к оценке инвестиционного проекта промышленных производств; постановка цели и задач исследования, положения разработанного подхода к оценке качества инвестиционного проекта промышленных производств с учетом экономических, технологических и экологических их особенностей, особенностей территории их размещения и реализации продукции; описание моделей принятия решений подзадач, входящих в систему оценки качества инвестиционного проекта; представление результатов оценки качества инвестиционного проекта по производству азопигментов.

Научная новизна. 1) На базе системного анализа, методов математического моделирования, теории принятия решений разработаны методологические основы оценки качества инвестиционного проекта при размещении технических систем (на примере химических и машиностроительных производств);

2) Разработан подход к оценке качества инвестиционного проекта промышленных производств, позволяющий рассмотреть каждый его вариант с экономических, технологических и экологических позиций, учитывающий комплексную оценку альтернатив при принятии решений, возможность использований при получении целевой продукции и обезвреживании отходов различных технологий и видов оборудования, особенности территории их размещения и реализации продукции. Осуществлены постановки задач оценки: технологических процессов получения целевой продукции, производств по обезвреживанию газообразных и жидких отходов, инвестиционной целесообразности реализации проекта. В качестве составляющих векторного критерия оптимальности

использованы укрупненные приведенные затраты на реализацию совокупности технологических процессов промышленного производства, надежность оборудования; технологичность и безопасность процессов получения целевой продукции и обезвреживания отходов.

3) Предложены модели принятия решений подзадач, входящих в систему оценки качества инвестиционного проекта, с использованием продукционных правил.

Практическая значимость диссертации. Разработанные методологические основы оценки качества инвестиционного проекта при размещении производственных технических систем (ПТС) позволяют с экономических, технологических и экологических позиций оценить его эффективность и выработать оптимальные сценарии бизнес-плана реализации проекта.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы обсуждались на Международной конференции «Перспективы развития лесного и строительного комплексов, подготовке инженерных и научных кадров на пороге XXI века» (Брянск, 2000 г.), Международной конференции «Методы и алгоритмы прикладной математики в технике, медицине и экономике» (Новочеркасск, 2001 г.), Международной конференции «Моделирование, теория, методы и средства» (Новочеркасск, 2001 г.), Международной теплофизической школы «Теплофизические измерения в начале XXI века» (Тамбов, 2001 г.), Международной научно-технической конференции «Математическое моделирование физических, экономических, технических, социальных систем и процессов» (Ульяновск, 2001 г.), Международной конференции «Теория активных систем» (Москва, 2002 г.), VII научной конференции Тамбовского государственного технического университета (Тамбов, 2002 г.), II Международной научной конференции и выставке CAD/CAM/PDM «Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта» (Москва, 2002 г.).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 20 печатных работ, в том числе статьи в центральных и международных журналах, доклады на конференциях различного уровня.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы, включающего 105 источников. Работа изложена на 129 стр., содержит 8 рисунков и 11 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность цели диссертационной работы, сформулированы задачи исследования, ее новизна.

В первой главе проведен анализ качественных и количественных оценок инвестиционных проектов, а также приведена постановка задачи исследования.

Среди качественных оценок были отмечены следующие характеристики продукции проекта: функциональность, надежность, удобство, ремонтопригодность, экологическая безопасность и др.

Среди количественных оценок приведены методы оценки экономической эффективности инвестиционных проектов, которые широко используются в отечественной и зарубежной практике инвестиционного проектирования, даны их описание и формулы расчета.

В качестве основных и наиболее используемых показателей можно отметить следующие методы: чистой приведенной стоимости; определения индекса рентабельности инвестиций; расчета внутренней нормы доходности; модифицировано внутренней нормы доходности; определения дисконтированного срока окупаемости инвестиций в бизнес-проект; определения рентабельности на основе простой нормы прибыли; определения дисконтированных затрат; расчета коэффициента эффективности инвестиций.

Анализ литературных источников, посвященных методам оценки экономической эффективности, в том числе описанным в действующих в РФ Методических рекомендациях по оценке эффективности инвестиционных проектов от 26.06.1999 г. №ВК 477, показал, что в сфере оценки эффективности инвестиционных проектов существуют существенные недостатки.

При принятии решения по инвестиционному проекту инвесторы, как правило, производят оценку экономической эффективности проекта по ряду показателей, значения которых, позволяют судить о его прибыльности или, напротив, убыточности. Однако, зачастую, только экономической оценки эффективности не достаточно для получения достоверных сведений о том, насколько принимаемый проект будет соответствовать ожидаемым потребностям инвестора и других субъектов инвестирования, а также какой эффект реализуемый проект будет иметь на социально-экономическую и экологическую среду региона и на само предприятие.

В целях обозначения всего комплекса оценок (экономических, экологических, технологических и др.) было определено понятие «качество инвестиционного проекта» как соответствие параметров проекта требованиям: экономической и технологической эффективности, экологиче-

ской безопасности. Данное определение соответствует терминологии ГОСТ Р ИСО 10006-2005.

Исходя из вышеизложенного, целью работы является разработка методологических основ оценки качества инвестиционного проекта при размещении технических систем на основе учета комплекса оценок инвестиционного проекта с экономических, технологических и экологических позиций.

Во второй главе представлены теоретические основы подхода к оценке качества инвестиционного проекта.

При изучении инвестиционных процессов нами был сделан вывод о том, что всю совокупность задач, решаемых на разных этапах принятия проектных и управленческих решений нужно рассматривать с позиций теории сложных систем.

В соответствии с этими теоретическими положениями на рис. 1 представлена схема подзадач оценки качества инвестиционного проекта промышленного производства.

Наличие множества различных критериев оптимальности при принятии решений этих задач привело к необходимости использования методов многокритериальной оптимизации. При этом в каждом конкретном случае решаются проблемы выбора альтернативных вариантов, метода решения задачи с учетом оценки качества вариантов по всем рассматриваемым критериям; принципа нормализации, приводящего все критерии к единому масштабу измерения и позволяющего производить их сопоставление; принципа учета приоритета, позволяющего отдавать предпочтение более важным, по мнению экспертов, критериям.

В общем виде задачу оценки качества инвестиционного проекта ПТС можно сформулировать следующим образом. Для вновь создаваемого промышленного производства получения продукции с заданными потребительскими качествами на множестве $W = T_o \times T_g \times T_v \times R_e \times M_e \times S_e$ найти такой -

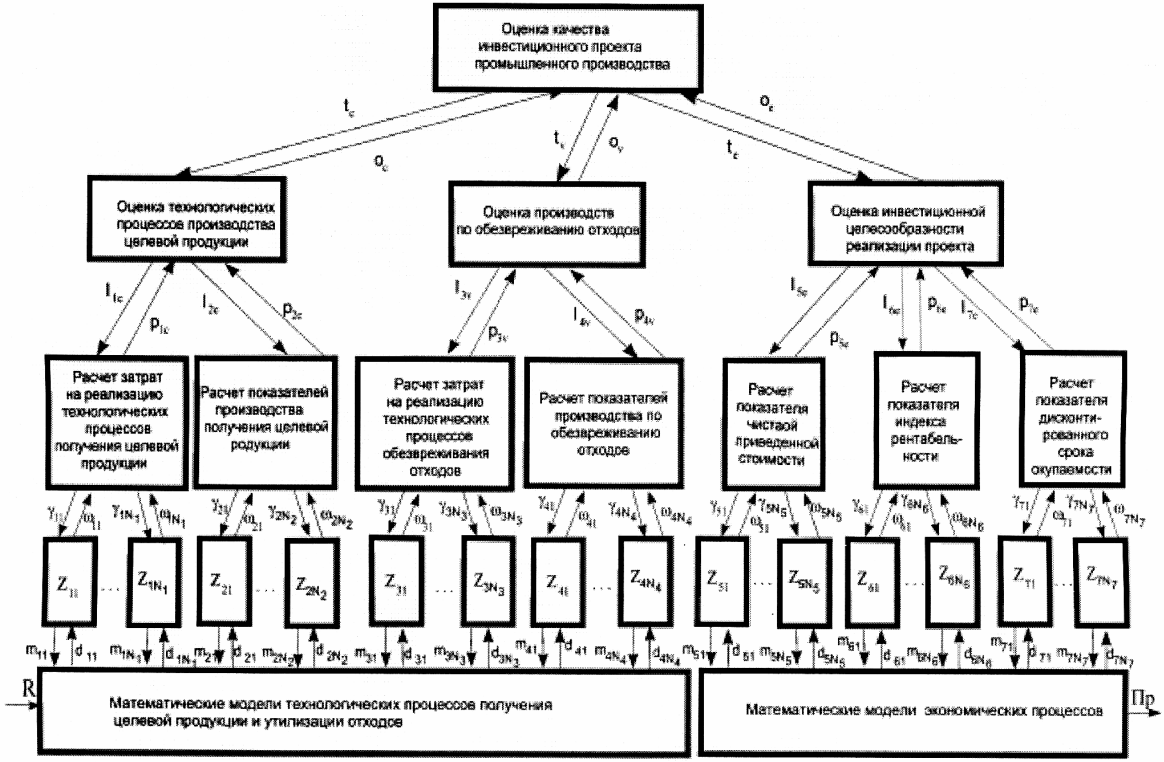


Рис. 1 Иерархическая структура процесса решения задач оценки качества инвестиционного проекта

вариант $w^* \in W$, для которого сумма взвешенных относительных потерь отдельных критериев имеет минимальное значение. Определение варианта w^* осуществляется с использованием:

- экономического критерия, включающего в себя затраты на реализацию технологических процессов получения целевой продукции и обезвреживания отходов;
- надежности функционирования основного и вспомогательного технологического оборудования;
- технологичности и безопасности совокупности процессов получения целевой продукции и обезвреживания отходов.
- экономической эффективности по показателям: чистой приведенной стоимости, индексу рентабельности и дисконтированному сроку окупаемости.

Множество W представляет собой декартово произведение множеств: вариантов структурных схем технологических процессов получения целевой продукции T_c; вариантов структурных схем технологических процессов обезвреживания газовых выбросов основных производств T_g; вариантов структурных схем технологических процессов обезвреживания сточных вод основных производств T_v; вариантов схем финансирования реализации проекта R_e; вариантов условий сбыта готовой продукции M_e; вариантов источников финансирования проекта S_e.

В формализованном виде задача заключается в поиске минимума целевой функции $\overline{F}(w)$:

$$w^* = \underset{w \in W}{arg\,min}\ \overline{F}(w)\ , \tag{1}$$

при выполнении: санитарно-экологических ограничений:

$$P_r\{c_{wj} < (c_j^{lim} - \Delta c_{wj})\} \geq \delta_{C_j}, \qquad j = \overline{1,J}\ , \tag{2}$$

ограничений на показатели функционирования системы:

$$F^l(w) \leq F^{l,zad}, \qquad l = \overline{1,L_1}\ , \tag{3}$$

$$F^m(w) \geq F^{m,zad}, \qquad m = \overline{1,L_2}\ ; \tag{4}$$

уравнений связи, представляющих математические модели:

- формирования вариантов схем технологических процессов получения целевой продукции

$$\overline{M}_1(Q_c, T_c) = 0\ , \tag{5}$$

- формирования вариантов структурных схем технологических процессов очистки сточных вод

$$\overline{M}_2(\overline{C}_{вх}, \overline{C}_{фон}, \overline{C}_{вых}, \overline{q}, \overline{Q_{V1}}, T_{V1}) = 0\,, \qquad (6)$$

- формирования вариантов структурных схем технологических процессов газоочистки

$$\overline{M}_3(\overline{C}_{вх}, \overline{C}_{фон}, \overline{C}_{вых}, \overline{Q_{V2}}, T_{V2}) = 0\,, \qquad (7)$$

- формирования вариантов источников финансирования инвестиционного проекта

$$\overline{M}_4(A, PR, IC, CR) = 0\,, \qquad (8)$$

- формирования вариантов условий реализации продукции, полученной в ходе осуществления проекта

$$\overline{M}_5(D, P, RC) = 0\,, \qquad (9)$$

- формирования вариантов схем финансирования инвестиционного проекта

$$\overline{M}_6(TP, FC) = 0\,, \qquad (10)$$

Здесь; $w_{opt} = \{t_{o\,opt}; t_{g\,opt}; t_{v\,opt}; r_{e\,opt}; m_{e\,opt}; s_{e\,opt}\}$ - оптимальный вариант; P_r - символ вероятности; $c_{wj}, c_j^{lim}, \Delta c_{wj}$ - соответственно концентрация j-ой примеси природном водоеме – приемнике очищенных сточных вод и (или) в приземном слое атмосферы для w - го варианта системы, ее предельно допустимое значение и некоторый «запас»; δ_{C_j} - значения вероятностей, с которыми обеспечивается запас по C_j; J - количество примесей; Q_c - объем выпускаемой продукции; $\overline{C}_{вх}, \overline{C}_{вых}, \overline{C}_{фон}$ - соответственно совокупности концентраций вредных примесей на входе и выходе станции очистки сточных вод и (или) системы газоулавливания, а также их фоновых значений; $\overline{Q}_{V1}, \overline{Q}_{V2}$ - функции входных потоков сточных вод и газовых выбросов; $\overline{q}$ - совокупность уровней качества сточных вод; T_{V1}, T_{V2} - множество возможных вариантов структуры технологической системы процессов очистки сточных вод и газовых выбросов; $F^l(w), F^m(w), F^{l,zad}, F^{m,zad}$ - соответственно значения показателей функционирования w - го варианта ПТС (надежность, технологичность, безопасность и т.п.) и их заданные значения; L_1, L_2 - соответственно количества показателей, для которых

задаются условия (3) и (4); A - амортизация предприятия, PR - прибыль предприятия; IC - уставный капитал предприятия, CR - заемные средства предприятия; D - объем спроса на продукцию, которая будет получена в ходе реализации проекта, P - цена, которую готовы платить потребители за производимый товар, которая зависит от степени удовлетворенности покупателей (степени качества продукции); RC - совокупность характеристик географических регионов размещения готовой продукции (конкретных природных условий, разветвленности инфраструктуры и др.); TR - совокупность технологических особенностей процесса производства, FC - финансовые возможности инвестора; $\overline{M}_1(\circ)-\overline{M}_6(\circ)$ - нелинейные функции (математические модели процессов получения целевой продукции и обезвреживания отходов; $\times$ - знак декартова произведения.

Специфика многих задач оценки качества инвестиционного проекта промышленного производства состоит в том, что они относятся к классу задач дискретного программирования. В тех случаях, когда множество вариантов решений невелико (не более 10^3 – 10^4), то, учитывая быстродействие современных ПЭВМ, искомое решение можно находить методом полного перебора вариантов. При более высокой размерности задач предлагается схема (см. рис.2), основанная на последовательном анализе и отсеивании вариантов путем исключения бесперспективных, как по ограничениям, так и по целевой функции.

Третья глава посвящена оценке технологических процессов получения целевой продукции ПТС для промышленных производств двух характерных

классов:

- производств, для получения целевой продукции которых используются чаще всего уникальные технологии, а все множество видов отходов может быть обезврежено с помощью достаточно большого количества различных технологий;

- производств, для получения целевой продукции которых могут быть использованы различные и технологии и виды оборудования, а отходами являются незначительные газовые выбросы.

К производствам первого из выше обозначенных классов относятся химические производства, в частности многоассортиментые малотоннажные химические производства красителей, добавок к полимерным материалам и т.д. К производствам второго класса относятся машиностроительные производства. При их сравнении с химическими производствами следует отметить: ассортимент выпускаемой продукции машиностроительных предприятий меняется значительно чаще, чем химических; каждое предприятие располагает достаточно большим парком

разнообразного оборудования, используемого для производства целевой продукции в зависимости от имеющегося исходного материала.

В связи с этим при разработке методологических основ оценки качества инвестиционного проекта промышленного производства учтены особенности этих классов производств.

Выбор варианта технологических процессов для получения химической продукции и района размещения ПТС осуществляется с учетом затрат на капитальное строительство, эксплуатацию, транспортные расходы на перевозку готовой продукции и сырья.

Методика автоматизированного решения задачи выбора варианта технологических процессов получения продукции и района размещения проектируемых химических производств (ПХП) основана на идее обобщения информации обо всех выполненных ранее проектах того же класса производств и построении функциональных (полиномиальных) зависимостей затрат на капитальное строительство, эксплуатацию, технико-экономических показателей производств от их мощности и варианта технологических процессов получения целевой продукции. Если для проектируемого производства нет прямого аналога, то прототип для него назначается по усмотрению экспертов.

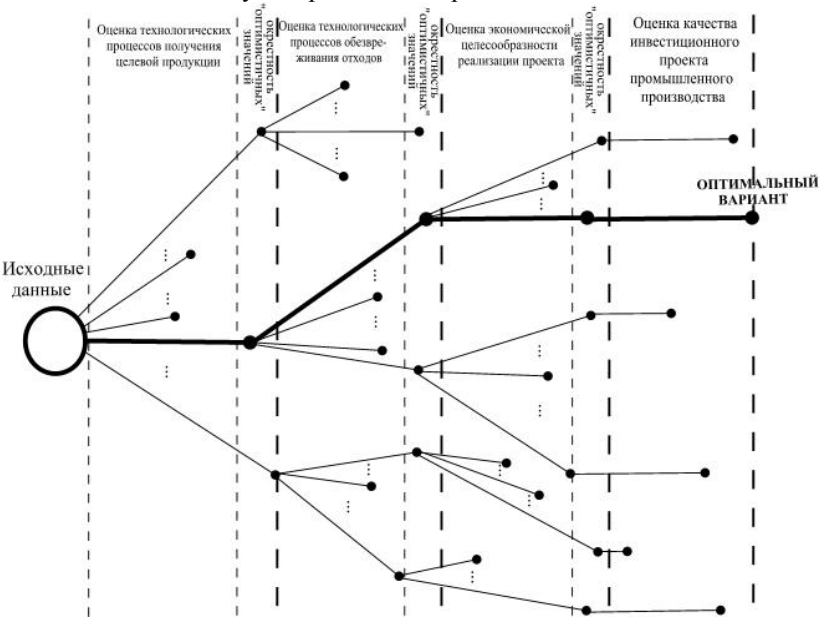


Рис. 2 Схема анализа и отсева вариантов решений при оценке качества инвестиционного проекта ПТС

Как правило, число предприятий, на территории которых возможно размещение ПХП не превышает 10 - 15 , число вариантов технологических процессов проектируемого основного производства 2 – 3. В связи с этим для решения поставленной задачи использован метод полного перебора, который позволит отранжировать варианты инвестиционного проекта в порядке возрастания затрат.

Задачу оценки технологических процессов производства машиностроительных изделий на примере одной детали, входящей в состав изделия, можно сформулировать следующим образом. Для конструируемой детали, с заданными геометрическими размерами *L* и весом *G*, ее эксплуатационными свойствами и прочностными характеристиками Xu_{lim}^{d} на множестве $W = M \times T \times Z \times O_m \times O_u \times O_z \times P_m \times P_u \times P_z \times V_m \times V_u \times V_z$ найти такой вариант $w^* \in W$, для которого сумма взвешенных относительных потерь отдельных критериев имеет минимальное значение. Определение варианта w^* осуществляется с использованием: экономического критерия, включающего в себя трудозатраты, стоимость вспомогательных материалов и материалов, затраченных на изготовление приспособлений, стоимость электроэнергии; оценки процента брака деталей; критерия технологичности процессов упрочняющей обработки.

Множество *W* представляет собой декартово произведение множеств: допустимых видов материалов, используемых для изготовления детали *M*; видов упрочняющей обработки, обеспечивающих заданные показатели качества изделия *T*; видов заготовок *Z*; допустимых наборов оборудования для проведения механической O_m, упрочняющей обработок O_u и для выбранных способов получения заготовок O_z; соответствующих каждому виду обработки: приспособлений P_m, P_u и P_z, видов вспомогательных материалов V_m, V_u и V_z.

В формализованном виде задача заключается в поиске минимума функции $\overline{F}(w)$:

$$w^* = \arg\min_{w \in W} \overline{F}(w), \qquad (11)$$

при выполнении ограничений на: эксплуатационные свойства и прочностные характеристики детали; температурный режим технологического процесса и глубину слоя химико-термической обработки материала детали; твердость материала детали; габаритные размеры детали при использовании оборудования; вес детали при использовании при-

способлений; показатели технологических процессов упрочнения детали и т.п.;

уравнений связи

$$\overline{\varphi}(G, M, T, Z, O_m, P_m, V_m) = 0, \qquad \overline{\psi}(G, M, T, Z, O_u, P_u, V_u) = 0,$$

$$\overline{\phi}(G, M, T, Z, O_z, P_z, V_z) = 0,$$

(12)

представляющих модели принятия решений при синтезе технологических процессов механической и упрочняющей обработок, а также получения заготовок.

Задача (11), (12) относится к классу комбинаторных. Из-за высокой размерности задачи и традиций организации труда на машиностроительном предприятии, она разбивается на подзадачи:

1 – выбора вида (марки) металла и вида упрочняющей обработки по-

верхностей детали, а также вида и способа получения заготовки в зависимости от выбранного характера упрочняющей обработки;

2 – выбора технологического процесса, оборудования, приспособлений, вспомогательных материалов и режимных параметров механообработки;

3 – выбора экономичного экологически безопасного технологического процесса, оборудования, приспособлений, вспомогательных материалов и режимных параметров определенного ранее вида упрочняющей обработки.

При решении задачи 1, используя критерий, включающий в себя трудозатраты, стоимости вспомогательных материалов и материалов, затраченных на изготовление конструируемой детали, стоимость обработки (снятие технологических прибылей) и транспортные расходы на доставку металла от поставщика на склад предприятия, получаем $\widetilde{O}_1$ вариантов ее решения, для которых значения критерия находятся в заданной окрестности оптимальной его величины. Это обусловлено тем, что при решении задачи используется укрупненная оценка затрат и времени на изготовление детали (ее партии), которые уточняются при детальном рассмотрении технологических процессов механической и упрочняющей обработок.

Компонентами каждого варианта являются: материал, используемый для изготовления детали, способ получения и вид заготовки, а также вид упрочняющей обработки, обеспечивающей заданные показатели качества изделия.

Для каждого o_{1i}-го варианта решения задачи 1, принадлежащего $\widetilde{O}_1$, решается задача автоматизированного выбора технологического процесса, оборудования, приспособлений, вспомогательных материалов и режимных параметров упрочняющей обработки 3. При ее решении используется критерий, составляющими которого являются: экономический критерий, включающий в себя трудозатраты, стоимости вспомогательных материалов и материалов, затраченных на изготовление приспособлений, стоимости электроэнергии и ущерба, наносимого окружающей среде выбросами загрязнений в атмосферный воздух; процент брака при изготовлении деталей; технологичность процессов упрочняющей обработки. Результатом решения задачи является маршрутная карта технологического процесса упрочняющей обработки.

Модели принятия решений задач 1 и 3 включают ряд эвристических процедур. В основе отдельных из них лежат традиционные действия конструктора и технолога в процессе технологической подготовки производства.

При решении задачи 1 стоимость упрочняющей обработки оценивалась укрупненно, поэтому решение задач 2 и 3 служит для уточнения затрат на их проведение. Для окончательного выбора оптимального варианта решения общей задачи необходимо вычислить критерий $\overline{F}$, минимальное значение которого позволит определить: материал, используемый для изготовления детали, способ получения и вид заготовки, технологические процессы механообработки, упрочняющей обработки с соответствующим набором оборудования, приспособлений и вспомогательных материалов.

Четвертая глава. В соответствии с природоохранным законодательством РФ нормирование качества окружающей природной среды производится с целью установления предельно допустимых норм воздействия, гарантирующих экологическую безопасность населения, сохранение генофонда, обеспечивающих рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов в условиях устойчивого развития хозяйственной деятельности. В связи с этим при оценке качества инвестиционного проекта ПТС рассмотрен подход, позволяющий, с одной стороны, в автоматизированном режиме выбрать оптимальный вариант схемного решения систем обезвреживания газовых выбросов и сточных вод; с другой стороны, сделать вывод об эффективности этих мероприятий. Наиболее прогрессивным методом решения этой задачи является применение экспертных систем. Чтобы среди множества вариантов структуры процесса выбрать оптимальную систему, необходимо четко определить критерии оценки. У систем очистки газовых выбросов и сточных вод имеется множество критериев оценки, которые объедине-

ны в 3 группы: “затраты”, “надежность”, “безопасность”. В таком случае рекомендуется использовать комплексную оценку, предполагающую распределение весов между этими суммирующими группами с учетом конкретных условий.

Формирование множества допустимых вариантов технологических схем очистки осуществляется с применением продукционных правил. В заключение из всего множества возможных технологических схем выбирается та, для которой критерий оптимальности достигает минимального значения.

Пятая глава посвящена оценке инвестиционной целесообразности реализации проекта, заключающаяся в определении экономической эффективности участия в проекте для всех субъектов инвестирования (инвесторов, заказчиков, потребителей продукции проекта и т.д.) с помощью традиционных методов экономической оценки эффективности инвестиций.

С точки зрения инвестиционного менеджмента оценка инвестиционной целесообразности заключается в определении экономической эффективности участия в проекте для всех субъектов инвестирования (инвесторов, заказчиков, потребителей продукции проекта и т.д.) с помощью общепризнанных методов экономической оценки.

Для вновь создаваемого промышленного производства получения продукции с заданными потребительскими качествами на множестве $W_e = M_e \times R_e \times S_e$ найти такой вариант $w_e* \in W_e$, для которого сумма взвешенных относительных потерь отдельных критериев имеет минимальное значение. Определение варианта w^*_e осуществляется с использованием показателей: чистой приведенной стоимости; индекса рентабельности; дисконтированного срока окупаемости.

Множество W_e представляет собой декартово произведение множеств: вариантов: условий сбыта готовой продукции M_e, схем финансирования инвестиционного проекта R_e, источников финансирования инвестиционного

проекта S_e.

В формализованном виде задача заключается в поиске минимума целевой функции $\overline{F_e}(w_e)$:

$$w^* = \underset{w \in W_e}{arg\,min}\ \overline{F_e}(w_e)\ , \qquad (13)$$

при выполнении ограничений на показатели функционирования системы:

$$F_e^{ЧПС}(w_e) > F_e^{ЧПС,zad} \quad (14)$$

$$F_e^{ИР}(w_e) \geq F_e^{ИР,zad} \; ; \quad (15)$$

$$F_e^{ДСО}(w_e) \leq F_e^{ДСО,zad} \; ; \quad (16)$$

уравнений связи, представляющих математические модели:

- формирования вариантов источников финансирования инвестиционного проекта

$$\overline{M}_1(A, PR, IC, CR) = 0 \, , \quad (17)$$

- формирования вариантов условий реализации продукции, полученной в ходе осуществления проекта

$$\overline{M}_2(D, P, RC) = 0 \, , \quad (18)$$

- формирования вариантов схем финансирования инвестиционного проекта

$$\overline{M}_3(TP, FC) = 0 \, , \quad (19)$$

Здесь W - множество возможных вариантов синтеза притоков и оттоков денежных средств по инвестиционному проекту, $W_e = M_e \times R_e \times S_e$; M_e - множество вариантов условий сбыта готовой продукции, R_e - множество вариантов схем финансирования проекта (последовательность финансирования), S_e - множество вариантов источников финансирования инвестиционного проекта; $w_{e,opt} = \{ m_{opt}; r_{opt}; s_{opt} \}$ - оптимальный вариант;

$F_e^{ЧПС,zad}$ - оптимальное значение по показателю чистой приведенной стоимости (ЧПС), правило для принятия решения по инвестиционному проекту с использованием данного критерия таково, что для экономически эффективного проекта ЧПС>0). Однако для инвестора не будет целесообразен для принятия вариант, значение ЧПС которого будет равным, например, 10 рублей, поэтому в качестве оптимального значения ЧПС будем принимать соответствующее масштабу инвестора приемлемое значение показателя;

$F_e^{ИР,zad}$ - оптимальное значение показателя индекса рентабельности (ИР), правило для принятия решения по инвестиционному проекту с использованием данного критерия

таково, что для экономически эффективного проекта ИР>1);

$F_e^{ДСО,zad}$ - оптимальное значение показателя дисконтированного срока окупаемости (ДСО), правило для принятия решения по инвести-

ционному проекту с использованием данного критерия таково, что для экономически эффективного проекта расчетное ДСО меньше ДСО, ожидаемого инвестором). Чем меньше период времени, в течение которого инвестор сможет полностью возместить затраты по проекту, тем данный проект более благоприятен для него.

Предложен подход, позволяющий оценить эффективность принятия решений по оценке экономической целесообразности реализации инвестиционного проекта, а также в автоматизированном режиме сформировать оптимальный с позиций принятых критериев вариант источников, схем финансирования проекта, а также условий реализации целевой продукции. В качестве критерия оптимальности использована сумма взвешенных потерь критериев: чистой приведенной стоимости, индекса рентабельности и дисконтированного срока окупаемости.

В шестой главе на основе разработанной методологии оценки качества инвестиционного проекта промышленного производства с использованием программного обеспечения, реализующего её положения были выполнены тестовые расчеты по оценке качества инвестиционного проекта производства азопигментов.

В основных выводах отражены результаты работы. Приводятся данные по их апробации на научно-технических конференциях и публикациях.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1 Основным результатом работы являются методологические основы оценки качества инвестиционного проекта при размещении технических систем (на примере химических и машиностроительных производств).

2 Разработан подход к оценке качества инвестиционного проекта промышленных производств, позволяющий рассмотреть каждый его вариант с экономических, технологических и экологических позиций, учитывающий комплексную оценку альтернатив при принятии решений, возможность использования при получении целевой продукции и обезвреживании отходов различных технологий и видов оборудования, особенности территории их размещения и реализации продукции. Осуществлены постановки задач оценки: технологических процессов получения целевой продукции; производств по обезвреживанию газообразных и жидких отходов; инвестиционной целесообразности реализации проекта. В качестве составляющих векторного критерия оптимальности использованы укрупненные приведенные затраты на реализацию совокупности технологических процессов промышленного производства,

надежность оборудования; технологичность и безопасность процессов получения целевой продукции и обезвреживания отходов.

3 Предложены модели принятия решений подзадач, входящих в систему оценки качества инвестиционного проекта, с использованием продукционных правил:

- оценки технологических процессов получения целевой продукции;
- оценки производств по обезвреживанию газообразных и жидких отходов;
- оценки инвестиционной целесообразности реализации проекта.

4 Теоретические и практические результаты использованы при решении задач оценки качества инвестиционного проекта размещения производства азопигментов.

Основные положения диссертации изложены в следующих работах:

1. *Герасимов Б.И.* Использование имитационного моделирования в инвестиционном анализе / Б.И. Герасимов, Ю.В. Немтинова // Сборник магистрантов. Тамбов, 2005. Выпуск 1. Часть 2. С. 136 -139.

2. *Malygin E*. Construction Principles of the System for Solving Industrial Ecology Problems / E. Malygin, V. Nemtinov, Yu. Nemtinova // Transactions of the Tambov State Technical University. 2001. V. 7, № 2. P. 205 – 212.

3. *Решение* проблемы оптимального синтеза технологических процессов сложных систем / Е.Н. Малыгин, В.А. Немтинов, Ж.Е. Зимнухова, Ю.В. Немтинова // Вестник Тамбовского государственного университета. 2002. Т. 7, № 2. С. 242 – 245.

4. *Немтинов В.А*. Оценка инвестиционной деятельности при размещении химических производств / В.А. Немтинов, Ю.В. Немтинова // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2002. Т. 8, № 2. С. 375 – 382.

5. *Malygin E*. Computer-aided Synthesis of Ecologically Safe Processes of Chemicothermal Treatment of Workpieces from Metals / E. Malygin, V. Nemtinov, Yu. Nemtinova // Transactions of the Tambov State Technical University. 2002. V. 8, № 3. P. 518 – 524.

6. *Немтинов В.А.* Автоматизированное формирование природоохранных мероприятий при проведении государственной экологической экспертизы / В.А. Немтинов, Д.В. Сарычев, Ю.В. Немтинова // Химическая промышленность. 2003. Т. 80, № 3. С. 14 – 25.

7. *Малыгин Е.Н.* Автоматизированный синтез системы очистки газовых выбросов для многоассортиментных малотоннажных химических производств / Е.Н. Малыгин, В.А. Немтинов, Ю.В. Немтинова // Теоретические основы химической технологии. 2003. Т. 37, № 6. С. 613 – 621.

8. *Немтинов В.А*. Оценка инвестиционной политики на машиностроительном производстве / В.А. Немтинов, Ж.Е. Зимнухова, Ю.В. Немтинова // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2003. № 4. С. 23 – 28.

9. *Использование* информационных систем при проведении экологических экспертиз / Е.Н. Малыгин, В.А. Немтинов, Д.В. Сарычев, Ю.В. Немтинова // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2003. Т. 9, № 3. С. 434 – 443.

10. *Немтинов В.А.* О подходе к регулированию взаимоотношений между природопользователями / В.А. Немтинов, Ю.В. Немтинова // Известия РАН. Теория и системы управления. 2004. Т. 43, № 5. С. 143 – 148.

11. *Немтинов В.А.* О подходе к созданию системы принятия решений при проведении государственной экологической экспертизы / В.А. Немтинов, Ю.В. Немтинова // Известия РАН. Теория и системы управления. 2005. Т. 44, № 3. С. 72 – 81.

12. *Немтинов В.А.* Оценка технико-экономической эффективности и экологической безопасности проектируемых химических производств / В.А. Немтинов, Ю.В. Немтинова // Перспективы развития лесного и строительного комплексов, подготовке инженерных и научных кадров на пороге XXI века : тез. докл. Междунар. конф. Брянск, 2000. С. 62 – 64.

13. *Немтинов В.А.* Экономико-математическое моделирование процессов утилизации жидких отходов многоассортиментных малотоннажных химических производств / В.А. Немтинов, Ю.В. Немтинова // Методы и алгоритмы прикладной математики в технике, медицине и экономике : тез. докл. Междунар. конф. Новочеркасск, 2001. С. 23.

14. *Зимнухова Ж.Е.* Оценка затрат изготовления машиностроительных деталей на ранних стадиях технологической подготовки производства / Ж.Е. Зимнухова, Ю.В. Немтинова // Труды ТГТУ : сб. научных статей молодых ученых и студентов. Выпуск 7. Тамбов, 2001. С. 206 - 211.

15. *Зимнухова Ж.Е.* Оценка затрат на химико-термическую обработку машиностроительных изделий / Ж.Е. Зимнухова, Ю.В. Немтинова // Моделирование, теория, методы и средства : тез. докл. Междунар. конф. Новочеркасск, 2001. Часть 4. С. 19.

16. *Зимнухова Ж.Е.* Экономическое обоснование выбора технологических процессов термической обработки деталей машиностроения / Ж.Е. Зимнухова, Ю.В. Немтинова // Теплофизические измерения в начале XXI века : тез. докл. Междунар. теплофиз. школы. Тамбов, 2001. С. 114 – 116.

17. *Nemtinova Yu.* Realization of Investment Policy at Allocation of Chemical Productions. Yu. V. Nemtinova // Математическое моделирование физических, экономических, технических социальных систем и процессов : тез. докл. Междунар. научно-технич. конф. Ульяновск, 2001. С. 89 - 90.

18. *Зимнухова Ж.Е.* О подходе к решению задач технологической подготовки машиностроительного производства / Ж.Е. Зимнухова, Ю.В. Немтинова // Теория активных систем : тез. докл. Междунар. конф. М.: ИПУ РАН, 2002. Т. 2. С. 83 - 85.

19. *Зимнухова Ж.Е.* Оценка технологических процессов по фактору профессионального риска / Ж.Е. Зимнухова, Ю.В. Немтинова // VII научная конф. ТГТУ : тез. докл. VII научн. конф. ТГТУ. Тамбов, 2002. С. 48 – 49.

20. *Учет* факторов экологической безопасности и профессионального риска на этапе технологической подготовки машиностроительного производства / Е.Н. Малыгин, В.А. Немтинов, Ж.Е. Зимнухова, Ю.В. Немтинова // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта : докл. Междунар. конф. и выставки CAD/CAM/PDM-2002. М., 2002. Т. 2. С. 428 – 435.

На правах рукописи

Ходилин Сергей Викторович

МЕТОД И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕНЬЮТОНОВСКИХ ЖИДКОСТЕЙ ПРИ СДВИГОВОМ ТЕЧЕНИИ

Направление 200400. Метрология, стандартизация и сертификация
Магистерская программа 200400.10 –
Метрологическое обеспечение контроля качества, свойств
и состава веществ, материалов и изделий

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
магистра техники и технологии

Тамбов 2006

Работа выполнена на кафедре «Автоматизированные системы и приборы» Тамбовского государственного технического университета

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ:
кандидат технических наук,
доцент **Дивин Александр Георгиевич**

РЕЦЕНЗЕНТ:
начальник группы контроля качества и сертификации
ОАО ТНИИР “Эфир” **Минько Ирина Сергеевна**

Защита диссертации состоится «14» июня 2006 г. в 10:00 часов на заседании Государственной аттестационной комиссии Тамбовского государственного технического университета по адресу:
392620, г. Тамбов, ул. Советская, 116, каф. АСП, ауд. С367

С диссертацией можно ознакомиться на кафедре АСП ТГТУ.

Технический секретарь ГАК Н.А. Конышева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В условиях интенсивно развивающейся современной Российской рыночной экономики первостепенное значение в конкурентоспособности промышленных предприятий играет качество выпускаемой продукции при минимальных затратах на производство. Одним из основных факторов достижения высокого качества продукции с минимальными затратами является ведение процесса производства продукции в оптимальном с технологической точки зрения режиме. Задачу выбора наиболее оптимального режима можно решить путем математического моделирования процессов производства.

Большое число технологических потоков, участвующих в производстве различного рода продукции, являются жидкостями (в том числе неньютоновскими) подвергнутыми сдвиговому течению. Известно, что значения реологических и теплофизических свойств, в частности вязкости, неньютоновских жидкостей зависят от скорости сдвигового течения. Знание зависимости значений теплофизических свойств неньютоновских жидкостей от скорости сдвигового течения имеет важное практическое значение при выборе, путем математического моделирования температурных полей технологических потоков, наиболее оптимального режима ведения технологического процесса производства продукции.

Существующие средства определения значений теплофизических свойств неньютоновских жидкостей при сдвиговом течении обладают значительным недостатком, заключающимся в существенной длительности проведения экспериментов, что не допустимо при исследовании материалов, подверженных деструкции.

Цель диссертационной работы заключается в разработке метода и измерительного устройства для исследования зависимости теплофизических свойств неньютоновских жидкостей от скорости сдвигового течения.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести литературный обзор существующих методов и средств измерения значений теплофизических характеристик (ТФХ) жидкостей;
- на основе результатов анализа литературного обзора разработать измерительное устройство и методику выполнения измерений значений (ТФХ) неньютоновских жидкостей при сдвиговом течении;
- на базе разработанного измерительного устройства разработать измерительную установку для исследования зависимости ТФХ неньютоновских жидкостей от скорости сдвигового течения;
- с целью проверки работоспособности измерительного устройства в соответствии с разработанной методикой выполнения измерений на

разработанной измерительной установке провести ряд пробных экспериментов.

Объектом исследования являются жидкости, относящиеся к классу неньютоновских.

Предметом исследования является зависимость теплофизических свойств неньютоновских жидкостей от скорости сдвигового течения.

Научная новизна работы:

- разработан метод определения теплофизических характеристик неньютоновских жидкостей при сдвиговом течении;
- разработана методика исследования зависимости теплофизических и реологических свойств неньютоновских жидкостей от скорости сдвигового течения;
- проведены экспериментальные исследования зависимости реологических характеристик синтетического каучука “Структурола” от скорости сдвигового течения.

Практическая значимость работы. Результаты исследований зависимости ТФХ неньютоновских жидкостей от скорости сдвигового течения имеют практическое значение как для предприятий химической промышленности, выпускающих лаки, краски, эмали, относящиеся к неньютоновским жидкостям, так и для предприятий, использующих в своем производстве технологические потоки неньютоновских жидкостей, такие как расплавы полимеров.

Методы исследования, достоверность и обоснованность. Разработка теоретических положений и создание на их основе измерительной установки для исследования зависимости ТФХ неньютоновских жидкостей от скорости сдвигового течения стали возможным благодаря использованию известных теоретических и экспериментальных методов измерения значений теплофизических свойств жидкостей и современных достижений в области теплофизических исследований.

Реализация работы. Материалы диссертации использовались в учебном процессе ТГТУ при подготовке магистров техники и технологии по специальности 552200 “Метрология, стандартизация и сертификация”.

Апробация работы. Результаты работы докладывались на: школе-семинаре молодых ученых “Метрология, стандартизация, сертификация и управление качеством продукции” – Тамбов, 2003 г.; 9-ой Всероссийской научно-технической конференции “Состояние и проблемы измерений” – Москва, 2004 г.; Международной научно-практической конференции “Образовательные, научные и инженерные приложения в LabView и технологии National Instruments” – Москва, 2005 г.

Публикации. Результаты диссертационной работы легли в основу 5 публикаций.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, десяти глав, заключения, списка литературы, включающего 14 источников, и трех приложений. Работа изложена на 62 стр., содержит 14 рисунков и 5 таблиц.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

На основе результатов анализа проведенного нами литературного обзора существующих методов и средств определения значений ТФХ жидкостей нами были предложены метод и измерительное устройство для исследования зависимости ТФХ неньютоновских жидкостей от скорости сдвигового течения.

Предлагаемое нами измерительное устройство, физическая модель которого представлена на рисунке 1, выполнено на базе коаксиально установленных внутреннего *B* и внешнего *H* (наружного) цилиндров, в зазоре между которыми находится исследуемая жидкость 5.

Сдвиговое течение создается за счет вращения внешнего цилиндра с постоянной угловой скоростью ω. В сечении внутреннего цилиндра на подложке 2 размещен слой 3, включающий в себя преобразователь температуры (термометр сопротивления медный) и источник теплового воздействия (электронагреватель), защищенные от исследуемой жидкости 5 слоем 4, выполненным в виде защитной гильзы. Внутри цилиндра *B* протекает теплоноситель 1 с постоянной температурой.

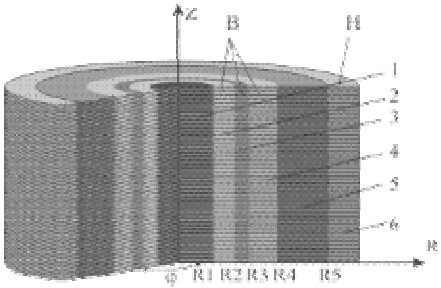


Рис. 1. Физическая модель измерительного устройства для исследования зависимости ТФХ неньютоновских жидкостей от скорости сдвигового течения

Математическая модель (1) предлагаемого нами измерительного устройства представлена ниже.

$$\frac{\partial T_1(r,\tau)}{\partial \tau} = \frac{\lambda_1}{c_1\rho_1}\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial T_1(r,\tau)}{\partial r}\right), \qquad R_1 < r < R_2, \quad \tau > 0,$$

$$\frac{\partial T_2(r,\tau)}{\partial \tau} = \frac{\lambda_2}{c_2\rho_2}\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial T_2(r,\tau)}{\partial r}\right) + \frac{Q_i}{V_i c_2\rho_2}, \quad R_2 < r < R_3, \quad \tau > 0,$$

$$\frac{\partial T_3(r,\tau)}{\partial \tau} = \frac{\lambda_3}{c_3\rho_3}\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial T_3(r,\tau)}{\partial r}\right), \qquad R_3 < r < R_4, \quad \tau > 0,$$

$$\frac{\partial T_4(r,\tau)}{\partial \tau} = \frac{\lambda_{rr}}{c_x\rho_x}\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial T_4(r,\tau)}{\partial r}\right) + W(r), \qquad R_4 < r < R_5, \quad \tau > 0,$$

$$T_1(r,0) = T_2(r,0) = T_3(r,0) = T_4(r,0) = T_0 = 0,$$

$$\begin{aligned}
&T_1(R_1) = T_0 = 0,\\
&T_1(R_2 - 0,\tau) = T_2(R_2 + 0,\tau), \ \lambda_1 \frac{\partial T_1(R_2 - 0,\tau)}{\partial r} = \lambda_2 \frac{\partial T_2(R_2 + 0,\tau)}{\partial r},\\
&T_2(R_3 - 0,\tau) = T_3(R_3 + 0,\tau), \ \lambda_2 \frac{\partial T_2(R_3 - 0,\tau)}{\partial r} = \lambda_3 \frac{\partial T_3(R_3 + 0,\tau)}{\partial r},\\
&T_3(R_4 - 0,\tau) = T_4(R_4 + 0,\tau), \ \lambda_3 \frac{\partial T_3(R_4 - 0,\tau)}{\partial r} = \lambda_{rr} \frac{\partial T_4(R_4 + 0,\tau)}{\partial r},\\
&T_4(R_5,\tau) = T_0 = 0.
\end{aligned} \qquad (1)$$

где T_1, T_2, T_3, T_4, [°C] - температуры в слоях подложки, нагревателя, защитного слоя и исследуемой жидкости;

τ, [*с*] - время;

R_1, R_2, R_3, R_4, [*м*] – внешние радиусы слоев внутреннего цилиндра;

R_5, [*м*]- внутренний радиус наружного цилиндра;

λ_1, λ_2, λ_3, $\left[\frac{Вт}{м \cdot K}\right]$ - коэффициенты теплопроводности подложки, нагревателя и защитного слоя внутреннего цилиндра соответственно;

$\lambda_{тт}$, $\left[\frac{Вт}{м \cdot K}\right]$ - второй диагональный компонент тензора теплопроводности Λ исследуемой неньютоновской жидкости, определяющий теплопроводность ориентированной вследствие сдвигового течения неньютоновской жидкости в направлении, перпендикулярном направлению ориентации;

$$\Lambda = \begin{pmatrix} \lambda_{zz} & \lambda_{zr} & \lambda_{z\varphi} \\ \lambda_{rz} & \lambda_{rr} & \lambda_{r\varphi} \\ \lambda_{\varphi z} & \lambda_{\varphi r} & \lambda_{\varphi\varphi} \end{pmatrix} \qquad (2)$$

$c_x\rho_x$, $\left[\frac{Дж}{м^3 \cdot K}\right]$ - объемная теплоемкость исследуемой жидкости;

$c_1\rho_1$, $c_2\rho_2$, $c_3\rho_3$, $\left[\frac{Дж}{м^3 \cdot K}\right]$ - объемная теплоемкость подложки, нагревателя и защитного слоя внутреннего цилиндра;

$Q_н$, $[Вт]$ - мощность нагревателя;

$V_н$, $[м^3]$ - объем слоя нагревателя;

$W(r)$ - интенсивность диссипативного источника тепла в слое жидкости.

$$W(r) = m\frac{(\omega \cdot R_5)^{n+1} \cdot \left(1 - \frac{2}{n}\right)^n}{\left(R_5^{1-\frac{2}{n}} - R_4^{1-\frac{2}{n}}\right)^2} \cdot \left(\frac{2}{n} \cdot r^{-2-\frac{2}{n}} - \frac{R_4^{1-\frac{2}{n}}}{r^3}\right)$$

(3)

где m – коэффициент консистенции;

n – индекс течения;

ω_φ - окружная скорость в направлении φ.

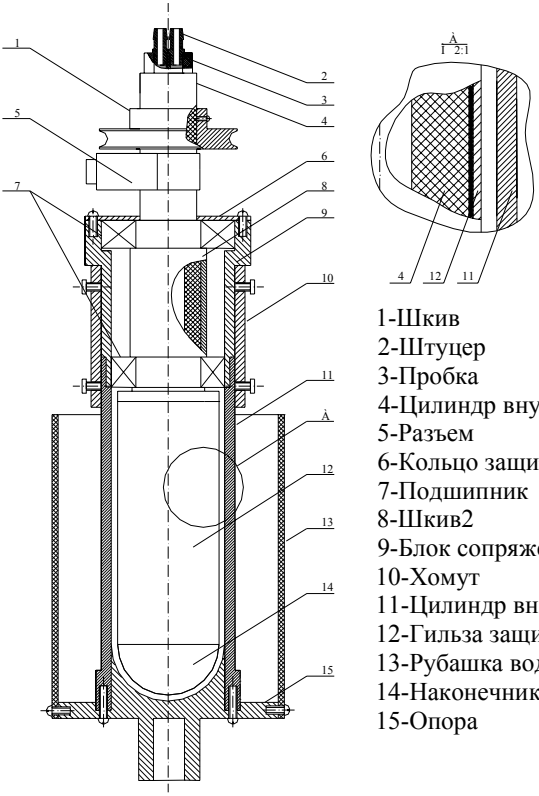
Предлагаемый нами метод исследования зависимости ТФХ неньютоновских жидкостей от скорости сдвигового течения предполагает проведение экспериментальных исследований в два этапа. На первом этапе проводится исследование реологических характеристик жидкости с целью определения значений коэффициента консистенции m и индекса течения n исследуемой жидкости. Эта задача решается путем обработки экспериментально найденной зависимости возникающего в слое исследуемой жидкости касательного напряжения от скорости сдвигового течения. На втором – исследование зависимости теплопроводности жидкости от скорости сдвигового течения. Значение коэффициента теплопроводности предлагается находить по перепаду температуры между стационарными режимами до, и после включения источника теплового воздействия.

В соответствии с предложенными нами физической и математической моделями измерительного устройства нами разработана конструкция измерительного устройства, общий вид и перечень элементов которой представлены на рисунке 2.

На базе предлагаемого нами измерительного устройства нами разработана автоматизированная измерительная установка для исследова-

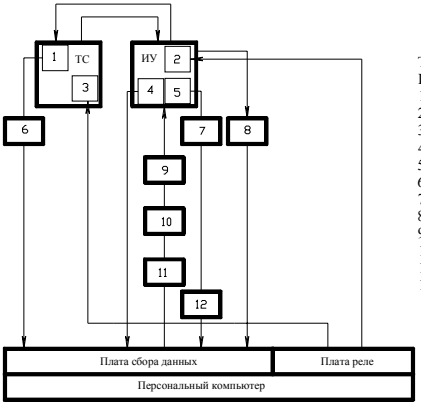
ния зависимости ТФХ неньютоновских жидкостей от скорости сдвигового течения, структурная схема которой представлена на рисунке 3. В состав автоматизированной измерительной установки помимо измерительного устройства входят термостат, персональный компьютер, снабженный многофункциональной платой сбора данных и платой реле, а также ряд других элементов и устройств, перечень которых приведен на рисунке 3.

Управление процессом экспериментального исследования ведется посредством программного обеспечения (ПО) измерительной установки, разработанного в среде LabView 7.0 фирмы National Instruments. Внешний интерфейс программного обеспечения измерительной установки представляет собой совокупность рабочих окон: базовое окно; окно ПО для проведения первого этапа исследований; окно ПО для проведения второго этапа и окно просмотра сохраненных экспериментальных данных. На рисунке 4 представлены рабочие окна ПО для проведения двух этапов исследования: определение значений реологических характеристик (рисунок 4 а) и определение значения коэффициента теплопроводности при заданной скорости сдвигового течения (рисунок 4 б).



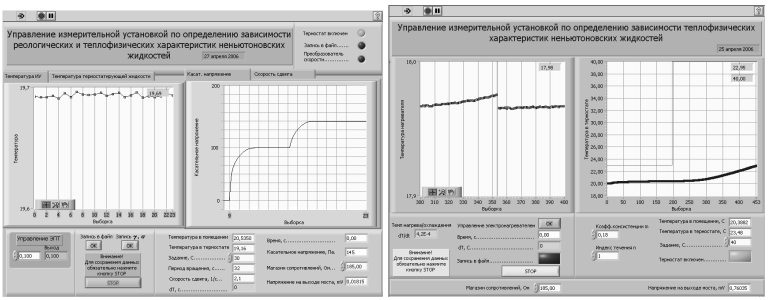
1-Шкив
2-Штуцер
3-Пробка
4-Цилиндр внутренний
5-Разъем
6-Кольцо защитное
7-Подшипник
8-Шкив2
9-Блок сопряжения
10-Хомут
11-Цилиндр внешний
12-Гильза защитная
13-Рубашка водяная
14-Наконечник
15-Опора

Рис. 2. Общий вид конструкции измерительного устройства



ТС-термостат
ИУ-измерительное устройство
1-преобразователь температуры
2-источник теплового воздействия
3-источник теплового воздействия
4-преобразователь угловой скорости вращения
5-преобразователь температуры
6-нормирующий преобразователь
7-мост измерительный
8-преобразователь силового воздействия
9-электродвигатель
10-выпрямитель
11-усилитель мощности
12-усилитель измерительный

Рис. 3. Структурная схема автоматизированной измерительной установки



а) б)

Рис. 4. Внешний интерфейс программного обеспечения измерительной установки:
а) окно ПО для определения значений реологических характеристик
б) окно ПО для определения значения коэффициента теплопроводности при заданной скорости сдвигового течения

В итоге на разработанной автоматизированной измерительной установке в соответствие с предложенной нами методикой выполнения измерений нами были проведены пробные экспериментальные исследования по определению значений реологических характеристик каучука “Структурола” при температурах 20 °С и 30 °С, а также серия пробных экспериментов по определению значений коэффициентов теплопроводности воды дистиллированной и 95%-ого раствора спирта этилового при температуре 30 °С.

Результаты экспериментов с каучуком представлены на рисунке 5. В таблице 1 представлены результаты обработки экспериментальных данных.

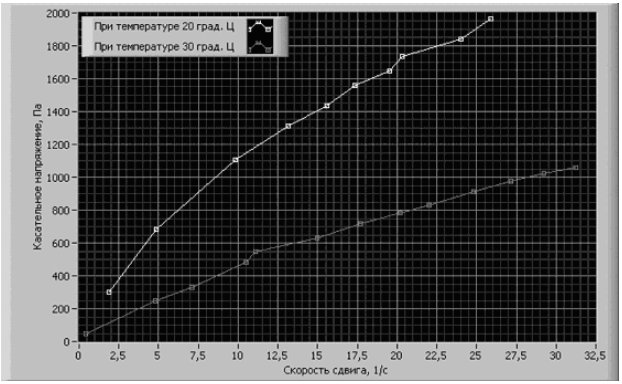


Рис. 5. Экспериментальные данные исследования зависимости ТФХ каучука от скорости сдвига

Таблица 1

Результаты обработки экспериментальных данных

Температурный режим эксперимента, °*C*	Коэффициент консистенции *m*	Индекс течения *n*
20	259	0.63
30	84	0.74

Результаты экспериментов по определению значений коэффициентов теплопроводности воды дистиллированной и 95%-ого раствора спирта этилового представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты экспериментов

Исследуемая жидкость	*ΔT*, *K*	λ_{rr}, $\frac{\hat{A}\partial}{\grave{\imath} \cdot \hat{E}}$
Вода дистиллированная	1.575	0.60
	1.580	0.59
	1.570	0.61
	1.575	0.60
	1.590	0.57

95%-й раствор спирта этилового	2.426	0.144
	2.445	0.142
	2.467	0.137
	2.470	0.138
	2.445	0.142

Проведенная оценка погрешности определения значения действующего касательного напряжения позволила получить значения предельной и среднеквадратичной оценок погрешности:

предельная оценка погрешности – $\left(\frac{\Delta\sigma_{r\varphi}}{\sigma_{r\varphi}}\right)_{\text{ïîä}} = 0.4\%$

среднеквадратичная оценка погрешности – $\left(\frac{\Delta\sigma_{r\varphi}}{\sigma_{r\varphi}}\right)_{\text{ñêî}} = 0.2\%$.

Для серии опытов по определению значений коэффициентов теплопроводности воды дистиллированной и 95%-ого раствора спирта этилового результаты экспериментов можно рассматривать как значения некоторой случайной величины, поэтому при оценке погрешности выполненных нами измерений мы воспользовались методом интервальной оценки; значение доверительной вероятности P было принято равным 0.95 (P=0.95). Результаты оценки погрешности определения значений коэффициентов теплопроводности воды дистиллированной и 95%-ого раствора спирта этилового представлены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты оценки погрешности

Исследуемая жидкость	δ,%
Вода дистиллированная	3.2
95%-й раствор спирта этилового	2.6

На основании полученных значений допустимо утверждение о достаточно низком значении погрешности измерительного устройства.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Предложены физическая модель измерительного устройства и методика выполнения измерений для исследования зависимости ТФХ неньютоновских жидкостей от скорости сдвигового течения.

2. Разработана математическая модель измерительного устройства и решена обратная задача теплопроводности.

3. На основе анализа принятых при разработке математической модели допущений разработана оптимальная, с точки зрения исключения влияния источников погрешностей, конструкция измерительного устройства.

4. На базе разработанного измерительного устройства создана автоматизированная измерительная установка для исследования зависимости ТФХ неньютоновских жидкостей от скорости сдвигового течения.

5. В среде LabView 7.0, программном продукте фирмы National Instruments, разработано программное обеспечение для управления процессом экспериментального исследования зависимости ТФХ неньютоновских жидкостей от скорости сдвигового течения.

6. Проведены пробные экспериментальные исследования реологических характеристик каучука “Структурола” и пробные эксперименты по определению значений коэффициентов теплопроводности воды дистиллированной и 95%-ого раствора спирта этилового.

7. Проведена оценка погрешности измерительного устройства применительно к определению значений величины касательного напряжения и коэффициента теплопроводности исследуемой жидкости.

На правах рукописи

Кузнецова Екатерина Сергеевна

АНАЛИЗ СМК КАК СРЕДСТВО УЛУЧШЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОАО «ИСКОЖ»

Направление 200400. Метрология, стандартизация и сертификация
Магистерская программа 200400.15 –
Всеобщее управление качеством

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание степени
магистра техники и технологии

Тамбов 2006

Работа выполнена на кафедре «Автоматизированные системы и приборы» Тамбовского государственного технического университета

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ:
кандидат технических наук,
доцент **Трофимов Алексей Владимирович**

РЕЦЕНЗЕНТ
Начальник ОУК **Павлинов Александр Юрьевич**

ВЕДУЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ: ОАО «ИСКОЖ»

Защита диссертации состоится «14» июня 2006 г. в 10 часов на заседании государственной аттестационной комиссии Тамбовского государственного технического университета по адресу:
392020, Тамбов, ул. Коммунальная, д. 5, ауд. 367

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат подготовлен «1» июня 2006 г.

Секретарь государственной
аттестационной комиссии **Н.А. Конышева**

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Развитие современного предприятия, особенно, ориентированного на международный рынок, не представляется возможным без разработки и внедрения системы менеджмента качества, соответствующей требованиям стандарта ИСО серии 9000. Это обусловлено возрастающими требованиям к продукции со стороны покупателей, масштабными интеграционными процессами. В частности, вступление России в ВТО неизбежно приведет отечественных предпринимателей к использованию международных стандартов в области обеспечения качества продукции и оказания услуг, направленных, прежде всего, на обеспечения единых правил игры, и, как следствие, равных условий на европейском рынке для всех товаропроизводителей.

Для результативного функционирования разработанной системы необходимо проводить периодическое оценивание СМК. Согласно ГОСТ Р ИСО 9001-2000 существуют следующие методы оценивания СМК:

- оценивание процессов;
- аудит;
- анализ СМК;
- самооценка.

На данный момент на предприятиях редко используют такой метод оценивания как Анализ СМК, в связи с тем, что не разработаны конкретные процедуры его проведения, не разработана соответствующая документация. По ГОСТ Р ИСО 9001-2001 такой анализ должно проводить высшее руководство предприятия, а это не всегда практикуется.

Исходя из этих факторов, необходимо разработать методику для проведения Анализа СМК и предложить рекомендации для его проведения высшему руководству.

В связи с изменяющимися условиями необходимо создать более мощный инструмент качества, учитывающий и финансовые потоки, которые в свою очередь определяют жизнь предприятия.

Цель диссертационной работы. Изучить систему менеджмента качества промышленного предприятия. Разработать методику оценивания СМК для улучшения деятельности промышленного предприятия, внедрение которой позволит повысить конкурентоспособность предприятия на рынке аналогичной продукции.

Для достижения цели диссертации были поставлены следующие **задачи**:

- изучить процессы СМК предприятия и их взаимодействие;

- провести сравнительный обзор основных подходов, применяемых для оценки и анализа СМК;
- разработать методику проведения совещания по анализу СМК со стороны высшего руководства;
- выявить (определить) информационные потоки, используемые при анализе СМК со стороны руководства;
- вычислить результативность процесса «Анализ со стороны руководства»;
- предложить методику учета затрат, связанных с качеством.

Объектом исследования являются процессы системы менеджмента качества ОАО «Искож».

Предметом исследования является улучшение деятельности ОАО «Искож».

Личный вклад автора. Автору принадлежит сравнительный обзор существующих методов оценивания СМК, постановка цели и задачи исследования, разработка методики проведения совещания по анализу СМК со стороны высшего руководства. Выявлены информационные потоки, используемые при анализе СМК, описаны основные их характеристики, составлена взаимосвязь и взаимодействие процессов СМК, связанных с этими информационными потоками. Предложена классификация затрат, связанных с качеством.

Научная новизна: разработана методика анализа СМК со стороны высшего руководства, включающая следующие процедуры: планирование совещания для анализа СМК; сбор и обработка информации; проведение совещания и разработка корректирующих и/или предупреждающих действий; составление отчета и оценка результативности процесса «Анализ со стороны высшего руководства».

Практическая значимость диссертации. Разработана методика проведения совещания по анализу. Совещания, проводимые по предложенной методике, являются действенным инструментом анализа СМК со стороны высшего руководства. Вычислена результативность процесса СМК «Анализ со стороны руководства», по результатам анализа которой выявлено отсутствие системы сбора и анализа информации об уровне затрат, связанных с качеством. Для ОАО «Искож» разработан стандарт предприятия «Анализ со стороны высшего руководства», а также предложена методика учета затрат, связанных с качеством.

Реализация работы. Основные идеи и результаты работы используются на ОАО «Искож» и в ТГТУ.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались на Международной научно-практической конференции «Управление качеством: методология и социально-экономические проблемы» (Тамбов, 2005).

Публикации. Результаты диссертационной работы легли в основу четырех публикаций.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 45 источников и приложения. Работа изложена на 148 стр., содержит 25 рисунков и 5 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность цели диссертационной работы, сформулированы задачи исследования.

В первой главе приведена краткая характеристика промышленного предприятия: численность сотрудников, ассортимент выпускаемой продукции, проведен анализ документации СМК.

На предприятии разработана, документально оформлена и поддерживается в рабочем состоянии система менеджмента качества, как средство, обеспечивающее выполнение требований, установленных ГОСТ Р ИСО 9001-2001.

Обычно на предприятиях структура документального оформления СМК состоит из трехуровневой иерархии, нами же предложена структура, изображенная на рисунке 1. СМК включает 23 процесса, для обеспечения эффективного планирования, осуществления процессов и управления ими разработаны 27 стандартов предприятия.

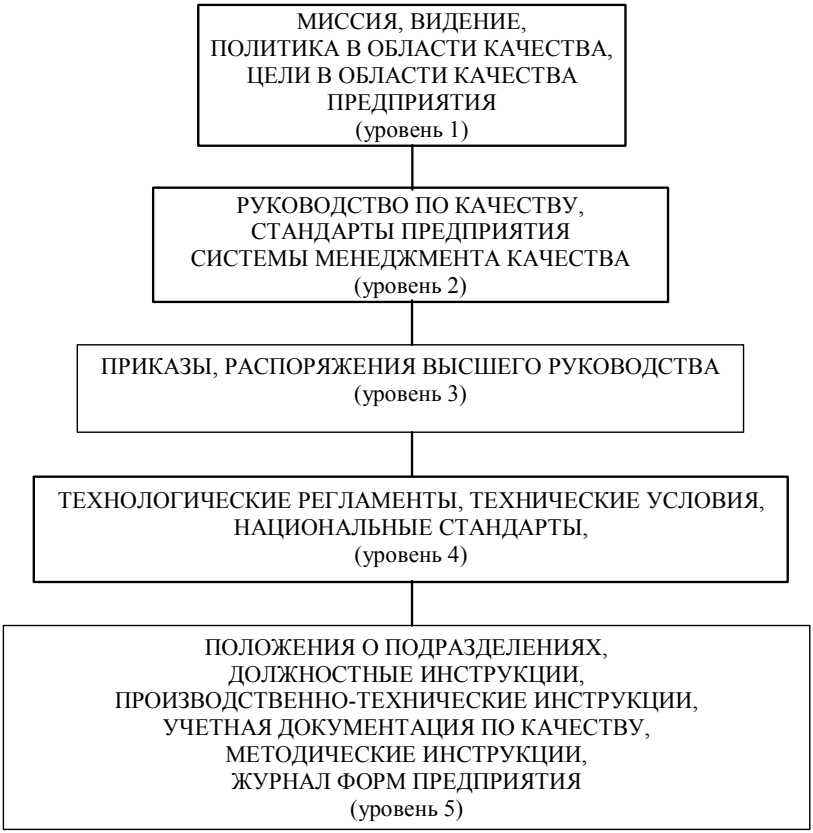


Рис. 1. Структура документального оформления СМК

Определена взаимосвязь и взаимодействие процессов СМК промышленного предприятия.

Вторая глава посвящена описанию известных методов оценивания СМК, а также проведен их сравнительный обзор.

Оценка системы менеджмента качества может различаться по области применения и включать такие виды деятельности, как аудит (проверку) и анализ системы менеджмента качества, а также самооценку.

В настоящее время широко применяемым инструментом для проверки и анализа СМК или ее отдельных элементов является *аудит*. Несомненными достоинствами аудита являются его формализованность, систематизированность и независимость. Результаты аудита основыва-

ются на фактах, что полностью согласуется с принципами стандартов серии ИСО 9000 версии 2000 года. Однако этот подход имеет ряд недостатков. Проводимые на предприятиях проверки не обеспечивают постоянной, системной оценки элементов СМК и всей системы в целом. Эффективность и полнота аудита в значительной мере зависят от квалификации и опыта аудиторов. Проверки носят «статический» характер, т.к. аудитор лишь фиксирует ошибки и недостатки, но не дает сведений о том, что стало причиной ошибки. В то же время выполнение минимальных требований стандарта не может служить полноценным свидетельством эффективности функционирования СМК. В результатах проверок, как правило, практически отсутствуют количественные показатели оценки эффективности СМК. Безусловным недостатком аудита является отсутствие оценки экономической составляющей обеспечения качества, которая во многом определяет эффективность СМК.

Одним из методов оценивания системы менеджмента качества является анализ СМК со стороны руководства. Проведение регулярного систематического оценивания пригодности, адекватности, эффективности и результативности СМК с учетом политики и целей в области качества – одна из задач высшего руководства (ВР) [10]. Анализ СМК должен проводиться ВР через запланированные интервалы времени [1].

Интервалы времени проведения анализа СМК со стороны ВР зависят от следующих факторов:

1) наличия функционирующей сертифицированной СМК;
2) осуществления проектирования и разработки новых видов продукции;
3) наличия функционирующей вычислительной локальной сети;

численности персонала.

Результаты анализа СМК со стороны ВР оформляются в виде протокола заседания и утверждаются Генеральным директором. По результатам анализа системы менеджмента качества со стороны руководства представитель руководства готовит проект приказа по улучшению системы менеджмента качества и качества продукции, корректировке, при необходимости, политики предприятия в области качества, целей и задач в области качества и разработке соответствующих этим целям и задачам мероприятий структурными подразделениями организации.

Совершенствование деятельности организации невозможно без периодического анализа фактического состояния работы по качеству и ее результатов. Такой всесторонний анализ в мировой практике получил название самооценки.

Самооценка может дать общее представление о деятельности организации и степени развития СМК. Она может помочь определить организации области, нуждающиеся в улучшении, и приоритеты.

В третьей главе более подробно исследован такой метод оценивания как «Анализ СМК». На предприятиях «Анализ СМК» проводят на специально планируемых совещаниях. Совещание определяется как «заседание, посвященное обсуждению каких-либо вопросов, действий, мер» и проводится обычно по оперативным вопросам. Таким образом, из определения видно, что общим объяснением слов собрание, совещание является коллективное обсуждение вопросов, принятие решения, то есть работа многих людей. При планировании, подготовке и проведении совещания по анализу СМК задействовано большое количество сотрудников, собирается и анализируется большое количество информации, что часто на предприятиях приводит к неразберихе. Исходя из этого разработан стандарт предприятия «Анализ со стороны высшего руководства», где четко распределены обязанности и определены ответственные.

Разработана методика проведения совещания по качеству, которая представляет собой последовательность действий (рисунок 2), выполнение которых позволит провести совещание для анализа СМК и выработать действия по улучшению системы управления предприятием.

Совещание, проводимое по предложенной методике, является действенным инструментом анализа СМК со стороны высшего руководства.

Для проведения анализа со стороны ВР необходимы данные информационных потоков. В п. 5.6.2 ГОСТ Р ИСО 9001-2001 определены входные данные для анализа СМК, информацию по которым получают из соответствующих процессов. Процессы, используемые при анализе СМК со стороны ВР должны соответствовать хотя бы одному из следующих критериев:

–процессы, отвечающие требованиям п.5.6.2 ГОСТ Р ИСО 9001-2001;

–документированная процедура;

–процессы, нацеленные на постоянное улучшение СМК.

Учитывая разработанные критерии, выбраны процессы, информация из которых является входной при анализе СМК со стороны ВР:

- В 1.1 «Управление документацией»;
- В 2.1 «Планирование СМК»;
- С 3.1.1 «Маркетинг»;
- В 3.2» Проектирование и разработка»;
- В 3.3«Планирование производства»;
- В 3.4 «Закупки»;
- С 3.5.1 «Производство продукции»;
- С 4.1.1«Удовлетворенность потребителей»;
- С 4.1.2 «Внутренние аудиты»;

– С 4.1.3 «Измерение продукции»;
– В 4.2 «Несоответствующая продукция»;
– В 4.3 «Анализ данных»;
– С 4.4.1 «Корректирующие действия»;
– С 4.4.2 «Предупреждающие действия»;
– В 3.5 «Управление финансами».

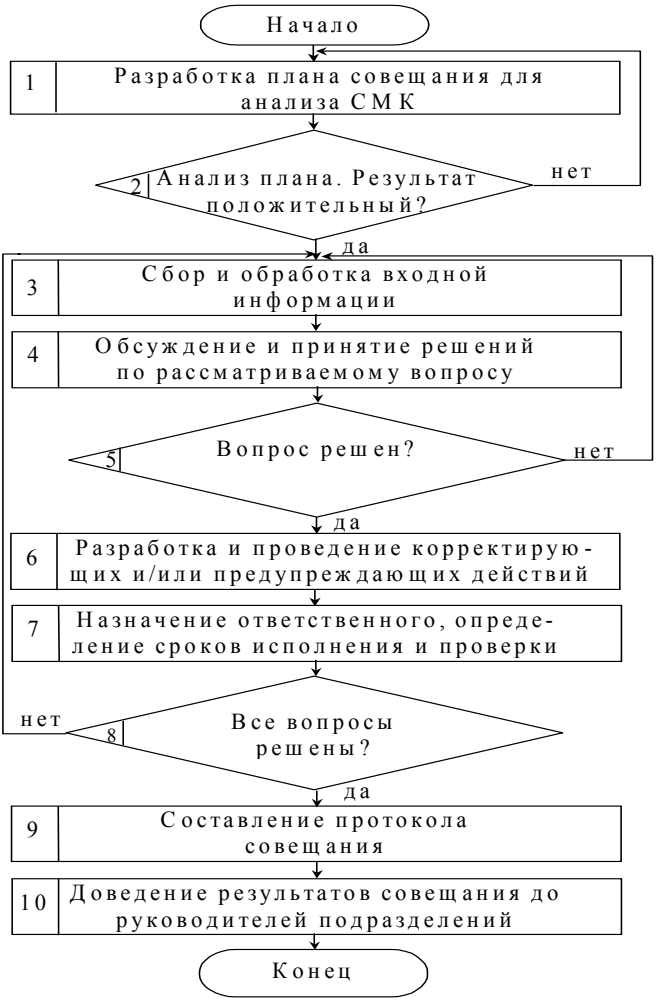


Рис. 3. Блок-схема последовательности действий для проведения совещания со стороны ВР

Все процессы, используемые при анализе СМК со стороны ВР, взаимодействуют друг с другом. Выходы одних процессов становятся входами других процессов. Разработана графическая модель информационной взаимосвязи и взаимодействия этих процессов, используя методологию функционального моделирования IDEF0 (рисунок 3).

Выходные данные анализа со стороны ВР (○→) являются входными данными для процессов В 2.1, В 1.1, В 1.2, А 4, что обеспечивает процесс постоянного улучшения.

Составлено описание основных характеристик процессов, используемых при анализе СМК со стороны ВР. Для каждого из выявленных процессов определен владелец, который отвечает за свой процесс. Методом измерения процессов служит внешний и внутренний аудит. Определены выходные данные каждого процесса, которые являются источниками информации для процесса В 2.2. Разработаны критерии оценки процессов, необходимые при анализе результативности функционирования процессов СМК. Для каждого критерия установлены плановые значения, по которым в дальнейшем и будет определяться результативность процесса.

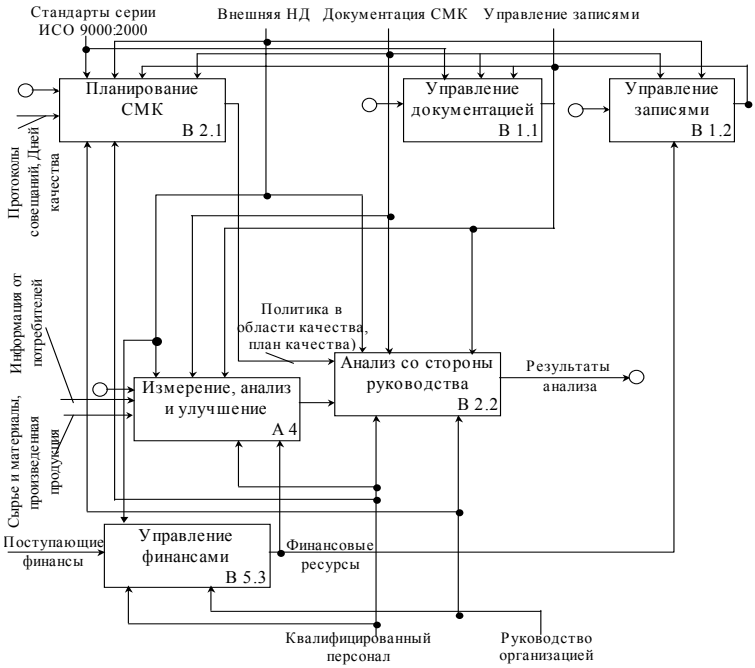
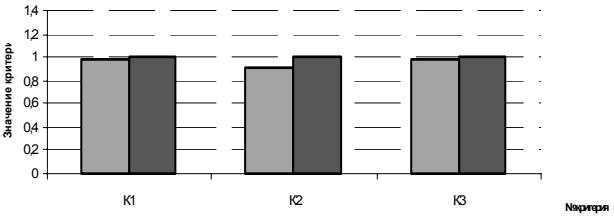


Рис. 3. Взаимосвязь и взаимодействие процессов СМК, используемых для анализа СМК со стороны руководства

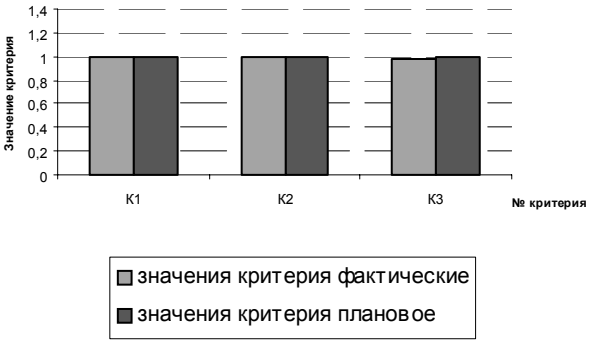
Таким образом, выявлены процессы и ИП, используемые при анализе СМК, описаны основные характеристики ИП, составлена взаимосвязь и взаимодействие процессов СМК, связанных этими ИП. Это позволило за короткий промежуток времени собрать и подготовить необходимую входную информацию, используемую при анализе СМК со стороны высшего руководства.

Вычислена результативность процесса СМК «Анализ со стороны ВР». Оценка показывает, что результативность процесса попадает в интервал $0{,}9 \leq P_n < 1$ - это означает, что процесс функционирует результативно, но требует разработки представителем руководства по качеству предупреждающих действий.

На рисунке 4 представлены диаграммы, показывающие изменение результативности процесса «Анализ со стороны высшего руководства» до внедрения предложенной методики и после.



а)



б)

Рис. 4.Диаграммы оценки результативности процесса «Анализ со стороны ВР»:
а) до внедрения методики; б) после внедрения методики

Четвертая глава посвящена рассмотрению другого часто применяемого подхода к оценке эффективности функционирования СМК предприятия - *оценка затрат на качество* и прибыли, как важнейшего элемента СМК. Отправной точкой в определении затрат на качество является их классификация (рисунок 5), т.е. определение состава и структуры затрат, сгруппированных по определенному признаку. От правильности классификации зависит правильность определения состава затрат и требований к организации их учета, анализа и оценки. Необходимо отметить отсутствие общепринятой классификации затрат на качество и методов их определения, что является основной проблемой при применении данного подхода.

После установления системы классификации и кодирования различных элементов затрат на качество необходимо выявить источники данных о затратах.

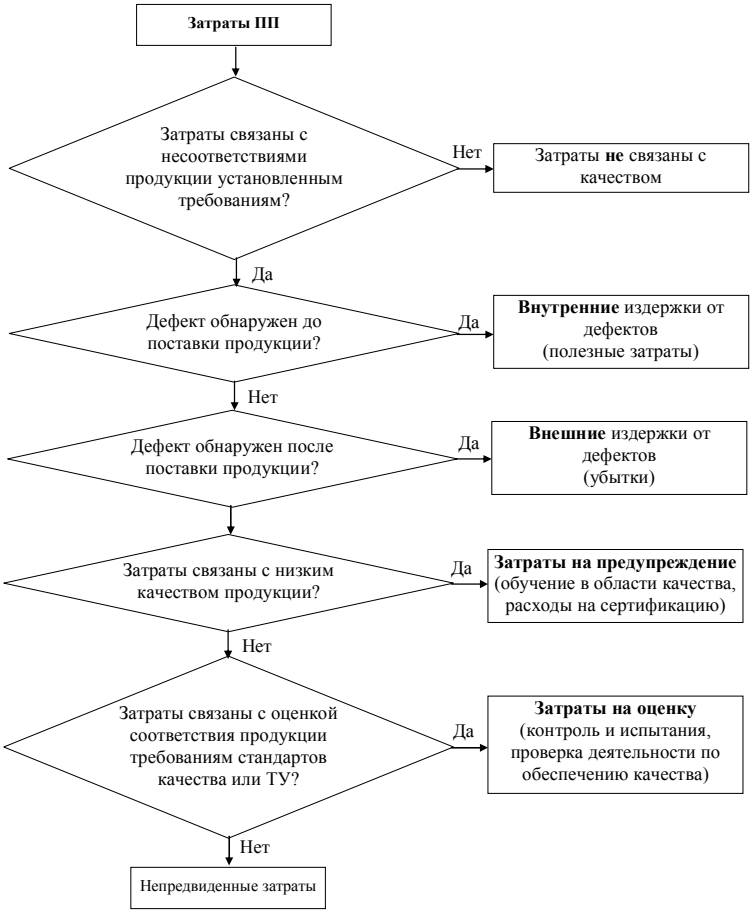


Рис. 5. Алгоритм классификации составляющих затрат, связанных с качеством

В условиях конкуренции, производитель обязан искать разумное сочетание себестоимости продукции и затрат на обеспечение ее качества. Работа по сбору и анализу затрат на качество, позволяет найти необходимый баланс между затратами на качество и достигнутым уровнем качества.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

Основные выводы по диссертационной работе состоят в следующем:

1. С помощью сравнительного обзора известных методов оценивания СМК и исследования специальной литературы определили, что метод – «Анализ СМК» малоизучен и сравнительно редко применяется на предприятиях.

2. Разработана методика проведения совещания по анализу СМК со стороны высшего руководства, следование которой позволит выработать действия по улучшению системы менеджмента качества промышленного предприятия.

3. Выявлены информационные потоки, используемые при анализе СМК, описаны основные их характеристики, составлена взаимосвязь и взаимодействие процессов СМК, связанных с этими информационными потоками.

4. Разработан стандарт предприятия «Анализ со стороны высшего руководства».

5. По результатам анализа данных, полученных на совещаниях, и по анализу результативности процесса СМК «Анализ со стороны руководства» предложена методика учета затрат, связанных с качеством.

6. Разработан алгоритм классификации составляющих затрат, связанных с качеством.

Материал диссертации представлен следующими публикациями:

1. *Кузнецова Е.С.* Совещание как способ анализа СМК со стороны высшего руководства // Сборник статей магистрантов по научной конференции 15-17 февраля 2005 года. Выпуск 1. Часть 2. – Тамбов: ТОГУП «Тамбовполиграфиздат», 2005. – 148 с.

2. *А.В. Трофимов, Е.С. Кузнецова*. Процессы, используемые при анализе СМК // Управление качеством: методология и социально-экономические проблемы: сб. науч. ст. I междунар. Науч.-практ. Конф. Тамбов, 11-13 мая, 2005 / Тамб. гос. техн. ун-т. Тамбов, 2005. – 284 с.

3. *А.В. Трофимов, Е.С. Кузнецова*. Информационные потоки, используемые при анализе СМК // Современные проблемы глазами будущих ученых. Сборник статей магистрантов. Выпуск III.-Тамбов: ТОГУП «Тамбовполиграфиздат», 2005. – 120 с.

С О Д Е Р Ж А Н И Е

270100. СТРОИТЕЛЬСТВО

270100.01

Антонов С. В. Исследование напряженно-деформированного состояния армированного песчаного основания 3

270100.07

Рындин В. О. Исследование старения древесных композитов под воздействием различных эксплуатационных факторов 21

150400. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

150400.15

Шереметьев А. В. Разработка и исследование прецизионного привода для контурошлифовального полуавтомата с ЧПУ 35

150400.19

Рухов А. В. Математическое моделирование совместного тепло- и массопереноса в адсорбционном аппарате с неподвижным слоем сорбента 48

Распутин А. О. Информационная система автоматизированного проектирования кожухотрубчатых теплообменников 63

150400.22

Шершукова А. И. Экспериментальные исследования физико-механических свойств зернистых материалов 77

150400.26

Румянцев А. В. Повышение качества асфальтобетонных покрытий отходами полимерной тары и упаковки 83

150400.32

Романова Е. В. Разработка математического описания процесса сушки полупродуктов органических красителей в тонком слое 92

Лукина Н. В. Исследование процесса сушки с химическими превращениями в производстве оптических отбеливателей 106

Пугачева Е. В. Разработка каталитических систем нейтрализации выхлопных газов на основе СВС-интерметаллидов Ni и Co 121

210200. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

210200.05

Орлов С. В. Система интеллектуальная решения задач оптимального управления 138

Данилкин С. В. Модуль программной сетевой полного анализа оптимального управления объектом второго порядка 148

210200.08

Маняхин И. М. Исследование свойств суспензий с углеродными нанообъектами методом кондуктометрии 160

080500.06

080500. МЕНЕДЖМЕНТ

Немтинова Ю. В. Оценка качества инвестиционного проекта при размещении технических систем (на примере химических и машиностроительных производств) 170

200400. МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

200400.10

Ходилин С. В. Метод и устройство для исследования теплофизических характеристик неньютоновских жидкостей при сдвиговом течении 190

200400.15

Кузнецова Е. С. Анализ СМК как средство улучшения системы управления ОАО «Искож» 203

СБОРНИК АВТОРЕФЕРАТОВ
МАГИСТРАНТОВ ТГТУ

Выпуск 7

Технический редактор Л. Николаева

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman.
Печать на ризографе. Усл. печ. л. 12,8. Тираж 100 экз. Изд. № 474.

Печать ТОГУП «Тамбовполиграфиздат».
392602, Тамбов, Моршанское шоссе, 14.