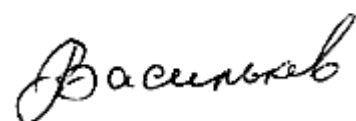


На правах рукописи



ВАСИЛЬКОВ Александр Васильевич

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ЭЛЕМЕНТОВ
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ПРОИЗВОДСТВА
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**Специальность 05.13.18 – математическое моделирование,
численные методы и комплексы программ**

**Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук**

Пенза–2012

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия” на кафедре “Автоматизация и управление”.

- Научный руководитель – доктор технических наук, доцент
Прошин Иван Александрович
- Официальные оппоненты **Львов Алексей Арленович**,
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный
технический университет имени Гагарина Ю.А.»,
заведующий кафедрой «Техническая кибернетика
и информатика»
Гарькина Ирина Александровна,
доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВПО
«Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства», профессор кафедры
«Математика и математическое моделирование»
- Ведущая организация – ОАО «Научно-исследовательский и проектно-
технологический институт химического
машиностроения» (ОАО «НИИПТХиммаш»),
г. Пенза

Защита состоится 27 декабря 2012 г. в 16 часов на заседании диссертационного совета Д 212.337.01 при Пензенской государственной технологической академии по адресу: 440039, г. Пенза, пр. Байдукова / ул. Гагарина, д. 1а / 11, ПГТА, 1 корпус, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”.

Автореферат разослан 26 ноября 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Чулков Валерий Александрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Расширение области применения и создание новых композиционных материалов (КМ) с требуемыми свойствами, совершенствование традиционных и внедрение новых производственных технологий и повышение их эффективности обуславливает необходимость разработки новых методов и средств математического моделирования как самих КМ, так и технологических процессов их синтеза, а также элементов автоматизированных систем научных исследований и производства КМ.

Математическое моделирование КМ проводится с использованием многофакторных аналитических и эвристических зависимостей и опирается на положения теории вероятностей и математической статистики, изложенные в основополагающих работах А.Я. Хинчина, А.Н. Колмогорова, Н. Винера, Ф. Гальтона и К. Пирсона, В. Госсета, Р. Фишера, М. Митчела и других авторов.

К настоящему времени достаточно полно проработаны основные положения общей теории математического моделирования, созданы теоретические основы математического моделирования и многокритериального синтеза композитов, достигнуты значительные успехи в разработке общей методологии моделирования КМ. Вместе с тем остаётся множество нерешенных задач математического моделирования технологических процессов создания КМ с заданными эксплуатационными свойствами, учитывающего физические и технологические аспекты образования структуры композита, предоставляющего возможность комплексного исследования динамических свойств КМ. Актуальными остаются задачи разработки методик и алгоритмов численного расчета, обеспечивающих создание комплексов программ для проведения научных исследований и поддержки производства композитов. Решение перечисленных задач с использованием современных информационных технологий обуславливает необходимость создания комплексных систем компьютерного и физического моделирования КМ как компонентов интегрированного комплекса сетевых автоматизированных лабораторий (ИКСАЛ).

Это предопределяет актуальность решаемой в работе научной задачи совершенствования методов и средств математического и компьютерного моделирования технологических процессов создания композиционных материалов и разработки элементов автоматизированных систем их производства.

Объект исследования – композиционные материалы, технологические процессы их производства, технические средства управления технологическим процессом.

Предмет исследования – теория и прикладные аспекты математического моделирования технологических процессов и элементов автоматизированных систем производства композиционных материалов.

Целью работы является повышение эффективности компьютерного моделирования технологических процессов и элементов автоматизированных систем производства композиционных материалов в условиях интегрированного комплекса сетевых автоматизированных лабораторий.

Для достижения поставленной цели сформулированы и решены следующие задачи.

1. Разработка методики и проведение математического моделирования технологических процессов формирования структуры и эксплуатационных свойств композитов.

2. Разработка методики и алгоритма численного формирования массивов экспериментальных данных в имитаторах элементов автоматизированных систем производства композиционных материалов и элементов автоматизированных систем производства композиционных материалов.

3. Разработка комплекса программ математического моделирования технологических процессов и элементов автоматизированных систем производства композиционных материалов в условиях интегрированного комплекса сетевых автоматизированных лабораторий.

4. Проведение комплексных исследований и разработка практических рекомендаций по применению созданных методов, математических моделей, алгоритмов, методик и комплекса программ.

Методы исследований. Методы системного анализа, теории математического моделирования, теории управления, теории вероятностей, математической статистики и корреляционно-регрессионного анализа, численные методы, элементы теории подобия и вычислительного эксперимента.

Научная новизна работы состоит в создании системы компьютерно-имитационного моделирования, обеспечивающей повышение эффективности моделирования технологических процессов и элементов автоматизированных систем производства композиционных материалов в условиях интегрированного комплекса сетевых автоматизированных лабораторий.

Новыми являются следующие научные результаты.

1. Комплексная методика физического и математического моделирования процесса синтеза композиционного материала с заданными свойствами, отличающаяся структурированием объектов по выполняемым функциям, средам, физическим законам функционирования, агрегатам и математическим моделям, которая обеспечивает моделирование технологических процессов производства композиционных материалов в виртуально-физической среде.

2. Система компьютерного моделирования процесса автоматизированного производства композитов и алгоритм численного формирования массивов экспериментальных данных в имитаторах элементов автоматизированных систем производства композиционных материалов, позволяющая повысить эффективность и качество проектирования и проведения испытаний при сокращении затрат.

3. Комплекс программ математического моделирования технологических процессов и элементов автоматизированных систем производства композиционных материалов в условиях интегрированного комплекса сетевых автоматизированных лабораторий, обеспечивающий сокращение затрат на проектирование автоматизированных систем их производства.

Практическая значимость работы.

1. Применение разработанного комплекса программ, алгоритмов и методик повышает эффективность математического моделирования процессов формирования структуры и эксплуатационных свойств композиционных

материалов, технологических процессов и элементов автоматизированных систем их производства.

2. Численный алгоритм имитационного моделирования расходомера в системе дозирования компонентов композита, включающий имитационные процедуры объёмного и массового расхода жидкости при заданных условиях, обеспечивает наладку и испытания многоканального дозатора в производственных условиях.

3. Разработанные практические рекомендации по применению созданных методов, математических моделей, алгоритмов, методик и комплекса программ дают возможность повысить эффективность исследования технологических процессов и элементов автоматизированных систем производства композиционных материалов в условиях интегрированного комплекса сетевых автоматизированных лабораторий.

Внедрение результатов работы. Программные средства внедрены в ОАО НПП “РУБИН” при моделировании композиционных материалов корпусов изделий, обеспечивающих защиту электронных блоков от электромагнитного излучения.

Комплекс программ, алгоритмов и методик моделирования используется в учебном процессе ПГТА при обучении студентов по направлению “Автоматизация технологических процессов и производств” в рамках интегрированного комплекса сетевых автоматизированных лабораторий.

Программный имитатор расходомера “Центросоник-М” внедрен в ЗАО “НИИФИ и ВТ” для наладки и проведения испытаний многоканального дозатора.

Достоверность результатов работы подтверждается согласованностью результатов математического моделирования с экспериментальными данными и результатами исследований других авторов, а также внедрением алгоритмов, методик и комплекса программ в производственные процессы промышленных предприятий.

На защиту выносятся.

1. Комплексная методика математического моделирования технологических процессов производства композиционных материалов в виртуально-физической среде с использованием структурирования объектов по выполняемым функциям, средам, физическим законам, агрегатам и математическим моделям.

2. Система и результаты компьютерного моделирования процесса автоматизированного производства композитов и алгоритм численного формирования массивов экспериментальных данных в имитаторах элементов автоматизированных систем производства композиционных материалов.

3. Комплекс программ математического моделирования технологических процессов и элементов автоматизированных систем производства композиционных материалов в условиях интегрированного комплекса сетевых автоматизированных лабораторий.

4. Численный алгоритм имитационного моделирования расходомера в системе дозирования компонентов композита, включающий имитационные процедуры объёмного и массового расхода жидкости при заданных условиях и обеспечивающий сокращение затрат на наладку и испытания многоканального дозатора.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы представлялись и докладывались на международных и всероссийских научных конференциях: "Испытания-2011" (Пенза, 2011), "Наука сегодня: Теоретические аспекты и практика применения" (Тамбов, 2011), "Проблемы управления, обработки и передачи информации" (Саратов, 2011), "ДАТЧИКИ и СИСТЕМЫ-2006" (Пенза, 2006).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 работ, включая 7 статей в журналах, рекомендованных ВАК, получено 5 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Личный вклад автора. В работе [1], выполненной в соавторстве, лично автором предложен метод компьютерного ведения классификаторов имущества, материальных средств и материалов. В работе [2], выполненной в соавторстве, лично автором представлена обобщенная схема компьютерно-имитационной модели технологических процессов производства композиционных материалов. В работах [3-7], выполненных в соавторстве, лично автором предложены варианты компьютерных моделей эволюции структурообразования композиционных материалов с учётом различных систем. Лично автором разработан алгоритм, выполнены кодирование и отладка комплекса программ [13-17] математического моделирования технологических процессов и элементов автоматизированных систем производства композиционных материалов в условиях интегрированного комплекса сетевых автоматизированных лабораторий.

Объём и структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 4 разделов, заключения, списка использованных источников из 208 наименований и приложения. Содержит 166 страниц машинописного текста, в том числе 55 рисунков и 8 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выбранной темы, сформулированы цель и задачи исследования, отражены научная новизна и практическая ценность исследований, перечислены основные положения, выносимые на защиту.

В первом разделе композиционный материал представлен как объект математического моделирования, выполнен анализ и проведено обоснование задач моделирования процессов формирования структуры КМ с заданными эксплуатационными свойствами, проанализированы численные методы и существующие программные средства моделирования композитов. Проведена систематизация методов математического моделирования технологических процессов и элементов автоматизированных систем производства композиционных материалов.

Как объект моделирования КМ представляет собой сложную техническую систему взаимосвязанных элементов, в которой под воздействием рецептурно-технологических факторов и технологических отклонений протекают динамические процессы формирования структуры и эксплуатационных свойств композита.

Математическое моделирование композитов проводится с целью решения задач управления формированием структуры и достижения заданных

эксплуатационных свойств композита, уточнения механизма явлений, протекающих в процессе формирования композита, исследования, испытаний и наладки автоматизированных систем производства композитов (АСПК). Исследования КМ включают математическое моделирование двух процессов, составляющих два взаимосвязанных цикла: технологический и эксплуатационный. Компьютерное моделирование технологических процессов и элементов АСПК в сочетании с физическими экспериментами обеспечивает проведение в ИКСАЛ как учебных, так и научных исследований, позволяет решать задачи отладки и исследования элементов производственных систем.

Проведенный анализ объекта моделирования показывает, что, с одной стороны, следует рассматривать КМ как сложную систему, параметры которой определяются эксплуатационными свойствами, характеризующими КМ как единое целое, и которые, в свою очередь, зависят от структуры композита, формируемой на основе внутренних механизмов структурообразования и деструкции КМ. Это обуславливает необходимость моделирования композита с применением как конечномерных (с сосредоточенными параметрами) так и бесконечномерных (с распределёнными параметрами) математических моделей. С другой стороны, все процессы формирования эксплуатационных свойств КМ протекают во времени, что определяет необходимость рассмотрения КМ как управляемой динамической системы на базе математических моделей “вход – выход” и “вход – состояние – выход” (в пространстве состояний). В результате анализа существующих методов математического моделирования в основу математического моделирования КМ положены методы моделирования в пространстве состояний с прямой причинно-следственной связью.

Проведена систематизация и дан анализ детерминированных аналитических зависимостей для физических процессов структурообразования и формирования КМ с нужными эксплуатационными свойствами.

В качестве основы построения системы компьютерно-имитационного моделирования КМ приняты общие принципы, численные методы и системная методология исследования технологических процессов и формирования математических моделей, разработанные И.А. Прошиным.

В ходе сравнительного анализа рассмотрены программные комплексы: MS Excel с дополнением XLSTAT-Pro, SPSS, STATA, STATISTICA, JMR, SYSTAT, NCSS, MINITAB, VisSim; Simulink (MATLAB), SystemBuild (MATRIXx), MathCAD, Anylogic (Model Vision Studium), MBTY, 20-sim, ITI-SIM, DyMoLa, SIMPLORER, DYNAST, hAMSter, Easy5, DASE Spartan '04 и др., которые изначально ориентированы на представление систем частиц и для расчёта в реальном времени характеристик систем частиц, используемых в процессе визуализации специальных эффектов. Моделирование структуры и эксплуатационных свойств в условиях ИКСАЛ вычислительными методами с последующей визуализацией результатов требует разработки комплекса программ, обеспечивающего повышение эффективности моделирования на базе комплексных методов и принятой методологии.

Таким образом, анализ известных методов и программных средств для математического моделирования КМ показывает, что к настоящему времени сложилась настоятельная потребность в разработке методик, алгоритмов и

комплексов программ, обеспечивающих повышение эффективности проведения научных исследований и производства композитов, математического моделирования технологических процессов формирования эксплуатационных свойств композитов с учётом физических и технологических аспектов образования структуры композита, компьютерного и имитационного моделирования динамических свойств КМ.

Второй раздел направлен на разработку системы компьютерно-имитационного моделирования КМ и технологических процессов АСПК как компоненты интегрированного комплекса сетевых автоматизированных лабораторий. Сформированы требования к методам, алгоритмам, комплексу программ математического моделирования КМ в условиях ИКСАЛ. Разработанная методика математического моделирования КМ основана на системном, энергетическом и кибернетическом подходах (рисунок 1).

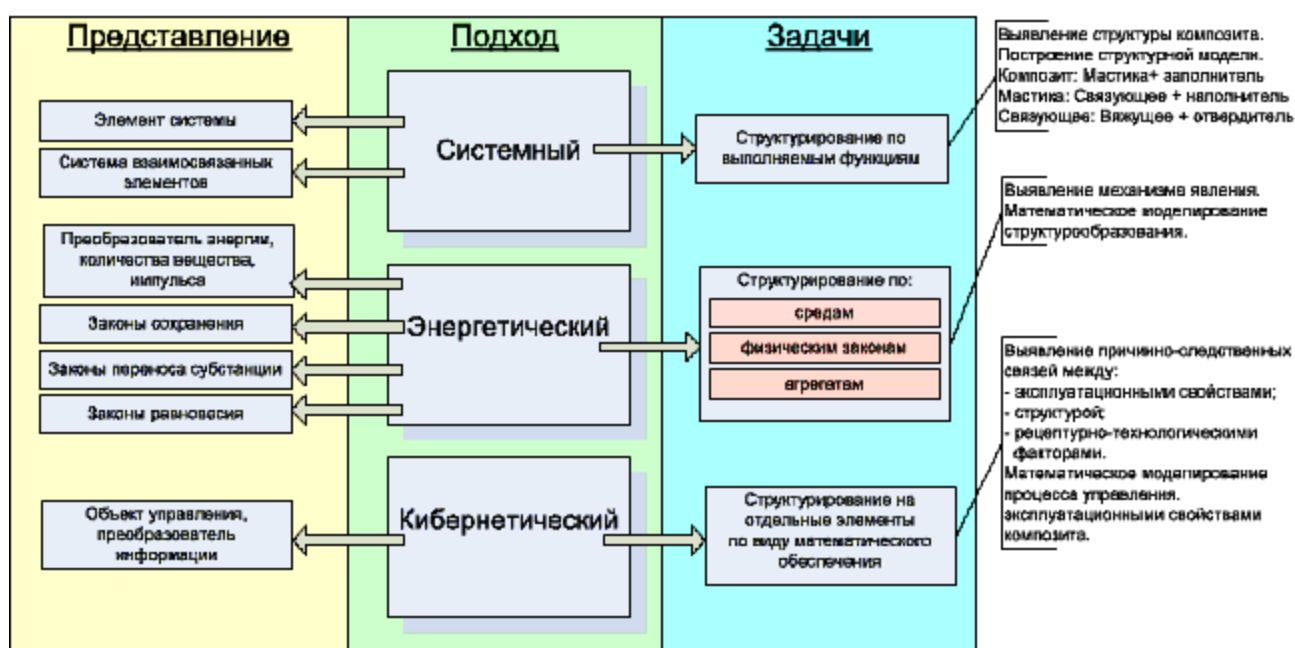


Рисунок 1 – Методика математического моделирования процессов формирования структуры и эксплуатационных свойств композита

Как элемент системы композит – элемент конструкции, обеспечивающий ей заданные эксплуатационные свойства: прочность, пористость, устойчивость к агрессивным средам и ионизирующим излучениям, долговечность. Эксплуатационные свойства композита представлены в виде обобщенного показателя $\bar{V} = [v_1 \ v_2 \ \dots \ v_{22}]^T$ в функции основных рецептурно-технологических факторов. Как система взаимосвязанных элементов композит объединяет совокупности дисперсных элементов в виде мастик и наполнителей, которые, в свою очередь, являются системами с определёнными свойствами. В работе мастика представлена совокупностью связующего и наполнителя. В свою очередь, математическое моделирование свойств связующего проводится с учётом исследования свойств вяжущего и отвердителя, являющихся компонентами связующего.

Целью исследования композита на основе энергетического подхода является выявление механизмов преобразования энергии, количества вещества,

количества движения и составление на основе фундаментальных законов природы математических моделей, описывающих энергетические и массообменные процессы, силовые взаимодействия между отдельными дисперсными частицами, входящими в состав композита и определяющими механизмы формирования структуры и эксплуатационных свойств композита, а также определение энергетического воздействия технологических факторов на процесс синтеза композита.

Композит представляет собой сложную систему, в которой происходят фазовые превращения, описываемые различными законами и изменяющие его структуру и эксплуатационные свойства. Поэтому проводимые в работе исследования включают математическое моделирование физических закономерностей, протекающих в композите с учётом структурирования, как по физическим законам, так и по средам (газообразная, жидкая, твёрдая) и агрегатам.

Исследования и целенаправленное формирование структуры и свойств композита проводятся с использованием кибернетического подхода на основе анализа композита как динамического объекта с выявлением основных управляющих и возмущающих воздействий, управляемых переменных и параметров композита, определяющих взаимосвязь управляемых координат процесса при моделировании с управляющими воздействиями и возмущениями.

В качестве основных координат состояния и управляемых переменных при моделировании КМ выбраны параметры структуры (вид кристаллической решётки, характер молекулярных связей, толщина матрицы вяжущего, гранулометрический состав) и эксплуатационные свойства (плотность, прочность, пористость, морозостойкость, теплопроводность, водостойкость, стойкость к ионизирующим излучениям) композита. К основным управляющим воздействиям, обеспечивающим формирование заданных эксплуатационных свойств композита, относятся рецептурно-технологические факторы, состав и соотношение компонентов, последовательность совмещения, режимы совмещения и перемешивания компонентов, прессование, вибрирование и т.д.

Возмущающие воздействия – это влияние окружающей среды, вариации параметров технологических режимов и исходных компонентов, ошибки дозирования, неравномерность распределения физических и химических свойств исходных материалов, примеси и т.д.

Поскольку появление новых свойств у композитов обусловлено новообразованиями – флокулами (кластерами), что отличает композиты от механической смеси, моделирование структурообразования композитов проводится с учётом механизма образования флокул. Процесс флокуляции заключается в самопроизвольном образовании групп частиц (флокул) дисперсной фазы (наполнителя), разделённых между собой прослойками дисперсионной среды (вяжущего вещества). За основу математического моделирования динамических режимов эволюции композиционных материалов, являющихся типичными дисперсными системами, принята векторная система уравнений, описывающая движение i -й частицы с массой m_i под действием градиента потенциала U_i и сил вязкого трения в точке с координатами $\mathbf{r}_i = (x_i, y_i, z_i)$:

$$m_i \ddot{\mathbf{r}}_i - k_i (\dot{\mathbf{r}}_i - \mathbf{v}_i) = -\nabla U_i, \quad i = \overline{1, N}$$

или в векторно-матричной форме пространства состояний:

$$\begin{bmatrix} \dot{\mathbf{v}}_i \\ \dot{\mathbf{r}}_i \\ \mathbf{v}_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{m_i} (k(\mathbf{v}_i - \mathbf{v}_{i,b}) - \nabla U_i) \\ \\ \mathbf{v}_i \end{bmatrix}, \quad i = \overline{1, N}. \quad (1)$$

Здесь N – количество частиц наполнителя; k - коэффициент, определяемый диссипативными свойствами дисперсионной среды, \mathbf{v}_i - скорость дисперсионной среды в точке \mathbf{r}_i .

Если использовать не потенциал U , а скалярный модуль силы парного взаимодействия $F_{ij} = F_{ij}(r_{ij}) = \frac{\partial}{\partial r} U(r_{ij})$, модуль силы взаимодействия с границей области $F_{i,b} = \frac{\partial}{\partial r} U(r_{i,b})$, силу тяжести $\mathbf{F}_{i,g} = m_i \mathbf{g}$, и, в предположении о ламинарном движении дисперсионной среды, силу вязкого трения $\mathbf{F}_{i,e} = 6\pi\eta R_i (\mathbf{v} - \dot{\mathbf{r}}_i)$, где R_i – радиус i -ой частицы, формулу (1) можно представить в виде

$$\begin{bmatrix} \dot{\mathbf{v}}_i \\ \dot{\mathbf{r}}_i \\ \mathbf{v}_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{g} + \frac{1}{m_i} \left(\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N \mathbf{F}_{ij} + \mathbf{F}_{i,b} + \mathbf{F}_{i,e} \right) \\ \\ \mathbf{v}_i \end{bmatrix}, \quad i = \overline{1, N}.$$

Анализ результатов численного моделирования процесса структурообразования в дисперсных системах показывает, что время их эволюции под действием сил парного взаимодействия определяется характерным расстоянием r_0 , соответствующим экстремальному значению потенциала взаимодействия. В моделируемых системах r_0 было принято равным радиусу частиц дисперсной фазы, поэтому время эволюции сопоставимо с временем твердения вяжущего. В реальных дисперсных системах расстояние r_0 существенно меньше размера частиц, и время эволюции под действием сил парного взаимодействия на несколько порядков превышает время твердения вяжущего.

Математическая модель деструкции на основании представления структуры материала как совокупности устойчивых связей, обеспечивающих целостность материала, определяет динамику совместного изменения разорванных и напряжённых связей с учётом рекомбинации разорванных связей в виде системы уравнений:

$$\begin{bmatrix} \frac{dN_b}{dt} \\ \frac{dN_s}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha N_b N_s - k_p N_s \\ -\alpha N_b N_s + \beta N_s \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где N_s – количество напряжённых связей; N_b – количество разорванных связей; α , β – константы скорости разрыва связей и образования напряжённых связей, соответственно, k_p – коэффициент рекомбинации разорванной связи.

Таким образом, разработана комплексная методика математического моделирования технологических процессов производства композиционных материалов в виртуально-физической среде и проведено математическое моделирование структурообразования композитов.

В третьем разделе решается задача имитационного моделирования технологических процессов в ИКСАЛ. Разработана компьютерная модель обобщённого технологического процесса. Сущность методологии компьютерного моделирования в ИКСАЛ состоит в замене технологического объекта его математической моделью и, в дальнейшем, в комплексном исследовании модели с помощью реализуемых на компьютерах вычислительно-логических алгоритмов.

Компьютерно-имитационное моделирование технологических процессов (перемещения, дозирования, нагревания, пропаривания, формования под давлением и др.) в ИКСАЛ сочетается с физическим моделированием и осуществляется с использованием элементов управления.

Информация о состоянии объекта и управляющие воздействия передаются в систему посредством сигналов различных датчиков: аналоговых, цифровых и интеллектуальных. Сигналы датчиков интерпретируются, и далее система в соответствии с алгоритмом управления и на основе модели состояния объекта вырабатывает управляющие воздействия и сигналы индикации. Работа интерпретатора алгоритма синхронизируется генератором синхроимпульсов.

Для создания компьютерной модели технологического процесса разработаны имитационные модели поведения датчиков (рисунок 2), учитывающие сигналы управления.



Рисунок 2 – Обобщённая система компьютерного моделирования технологического процесса

В систему компьютерного моделирования введён масштабируемый генератор синхросигнала. Это позволяет в зависимости от решаемой задачи и скорости протекания реального процесса рассматривать технологический процесс в замедленном темпе или, наоборот, – в ускоренном.

Процессы, протекающие в реальных объектах, могут происходить в очень короткие промежутки времени, измеряемые микросекундами (например, время срабатывания клапана, переходные процессы в электронных элементах) или же, напротив, в протяженные периоды, исчисляемые часами (например, процесс полимеризации).

Установление закономерностей связи процесса структурообразования дисперсных систем с рецептурно-технологическими факторами позволяет целенаправленно изменять свойства композитов. Решение этой научно-технической задачи с привлечением компьютерного моделирования имеет большое практическое значение. Тем не менее, технологические воздействия не всегда могут быть воспроизведены на реальной технологической установке, и это может привести к изменению исходных данных для моделирования процесса структурообразования дисперсных систем.

Программный комплекс моделирования композиционных материалов дополнен комплексом компьютерного моделирования технологических процессов их производства. Результаты, полученные путем моделирования позволяют оценить влияние рецептурно-технологических факторов на процесс структурообразования дисперсных систем в конкретной технологической установке.

Технологические объекты производства КМ представлены в виде динамических систем, а их исследование проводится на основе методов математического моделирования в пространстве состояний с прямой причинно-следственной связью в комбинированных формах. В общем случае модель задаётся системой векторных уравнений состояния и выхода

$$\begin{aligned} \bar{V}^{(1)} &= \bar{F}(v_1, v_2, \dots, v_n, u_1, u_2, \dots, u_m, z_1, z_2, \dots, z_l); \\ \bar{X} &= \bar{\Psi}(v_1, v_2, \dots, v_n, u_1, u_2, \dots, u_m, z_1, z_2, \dots, z_l). \end{aligned}$$

Обоснована система базисных функций преобразования координат и разработан численный алгоритм для построения математических моделей композитов с заданными эксплуатационными свойствами в функции технологических параметров.

Основной результат третьего раздела состоит в создании системы компьютерного моделирования технологических процессов производства композиционных материалов.

Четвёртый раздел посвящен решению задачи создания численных алгоритмов и комплекса программ компьютерного моделирования технологических процессов и элементов автоматизированных систем производства композиционных материалов в условиях ИКСАЛ.

На рисунке 3 приведена структура программно-технического комплекса сетевых автоматизированных лабораторий, в состав которого входит комплекс программ моделирования процессов формирования структуры композита с заданными эксплуатационными свойствами (рисунок 4).

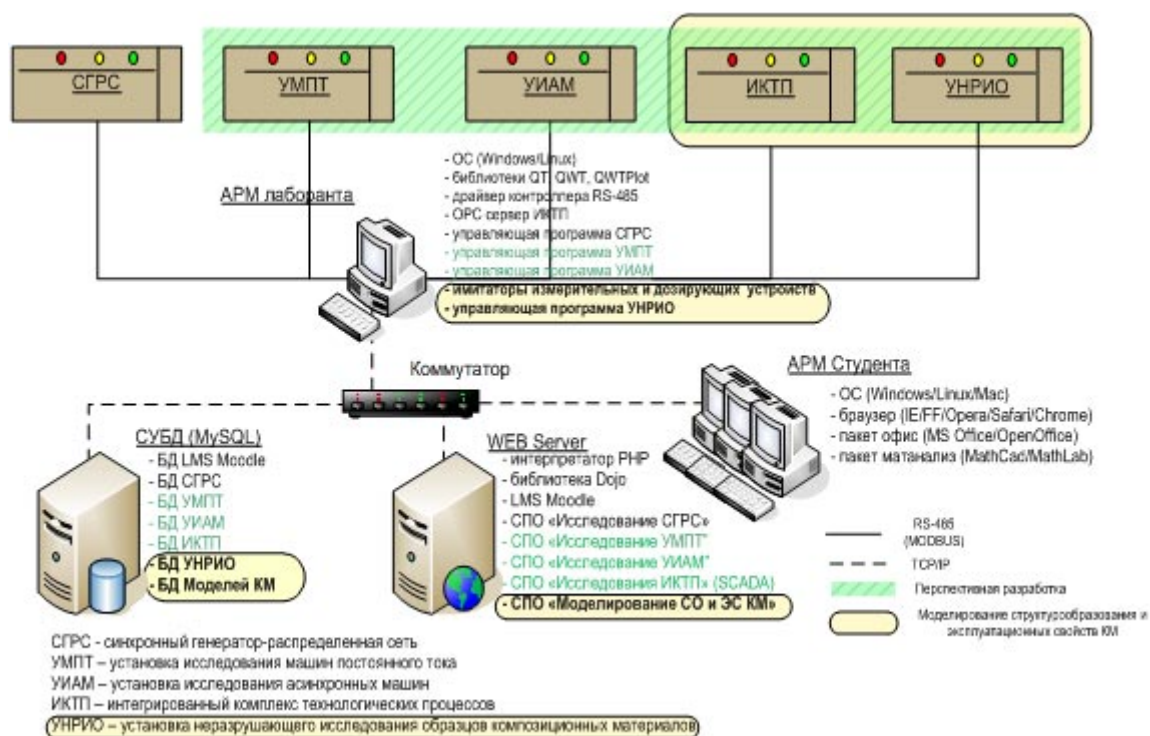


Рисунок 3 – Структура программно-технического комплекса ИКСАЛ

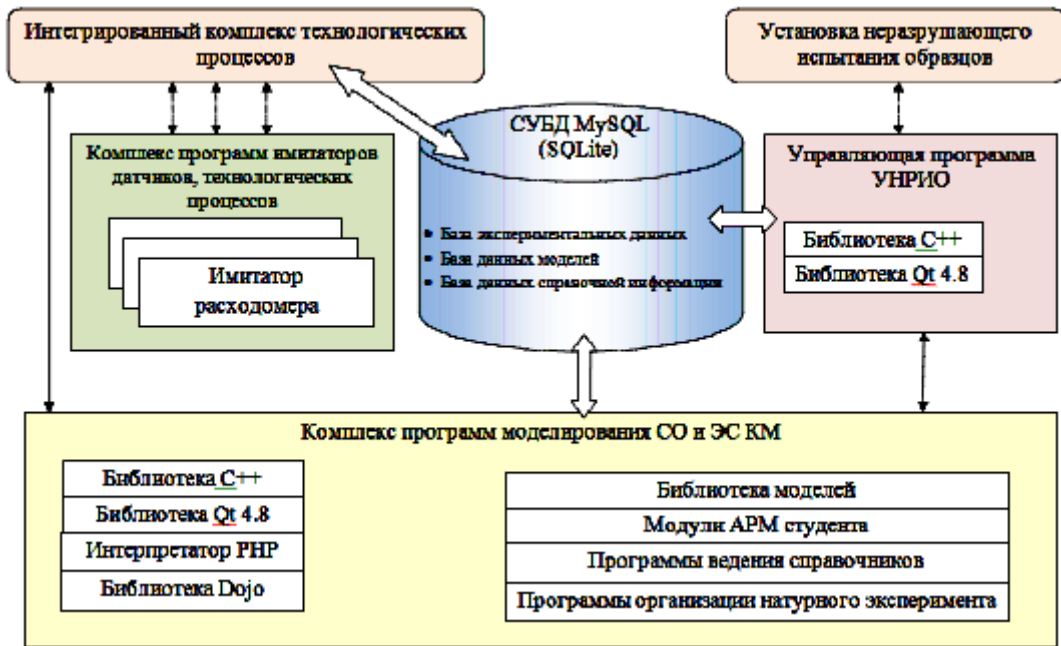


Рисунок 4 – Комплекс программ моделирования процессов формирования структуры композита с заданными эксплуатационными свойствами

На рисунке 5 приведена диаграмма последовательности для программы моделирования процессов формирования структуры и эксплуатационных свойств композита.

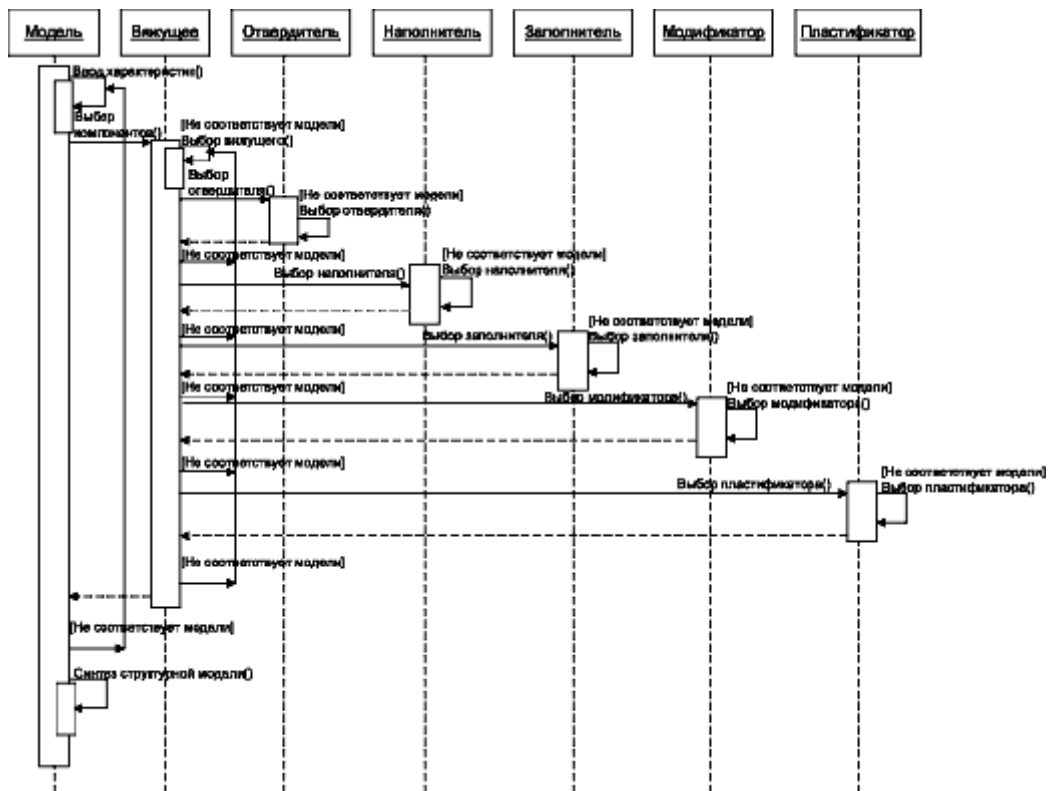


Рисунок 5 – Диаграмма последовательности для программы моделирования процессов формирования структуры и эксплуатационных свойств композита

На рисунке 6 приведена экранная форма автоматизированного рабочего места для моделирования процессов формирования структуры и эксплуатационных свойств композита.

В работе решена также задача моделирования технологических процессов производства композитов (гидромеханические, массообменные, тепловые процессы) и имитационного моделирования основных технических средств, с помощью которых обеспечивается физическое моделирование и управление натурными испытаниями в ИКСАЛ. На рисунке 7 в качестве примера приведена диаграмма активности программного имитатора расходомера “Центросоник–М”, используемого в ИКСАЛ в системе дозирования жидких компонент.

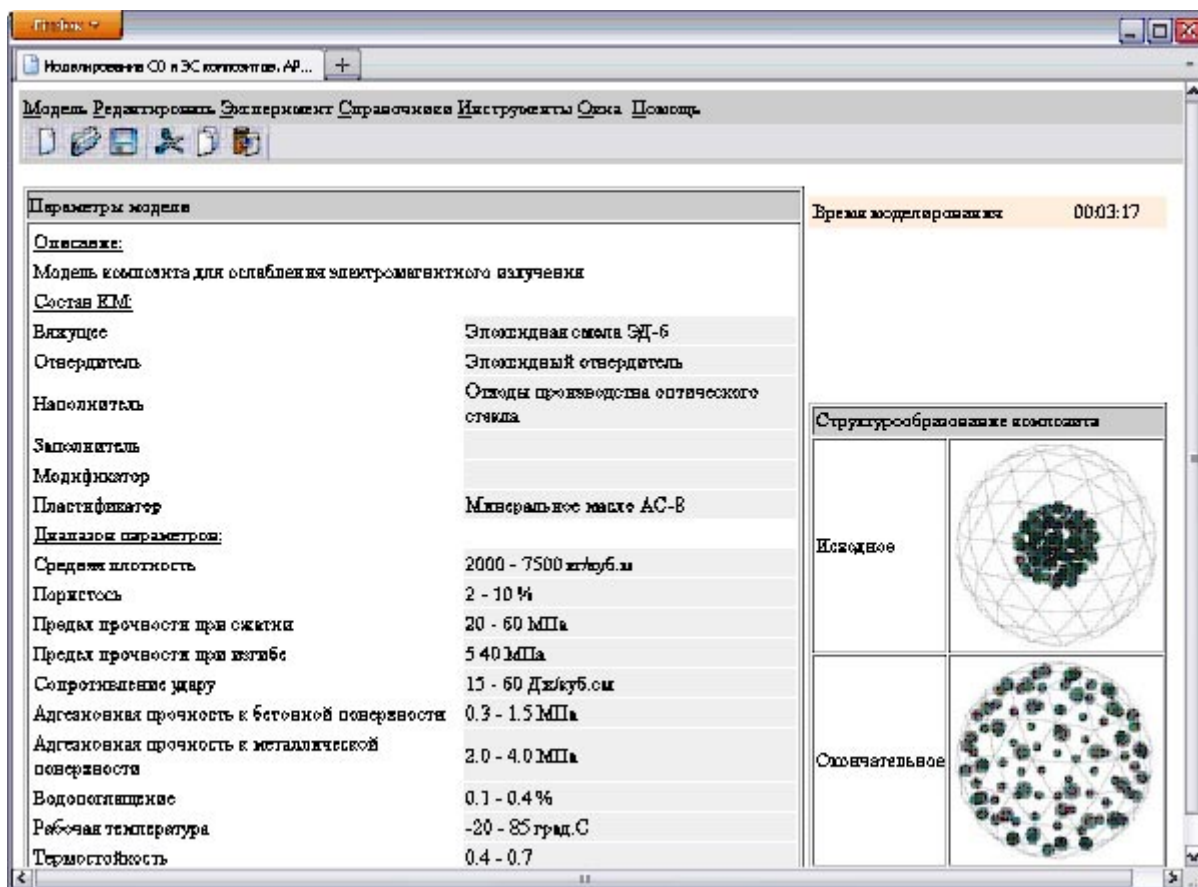


Рисунок 6 – Экранная форма АРМ для моделирования процессов формирования структуры и эксплуатационных свойств композита

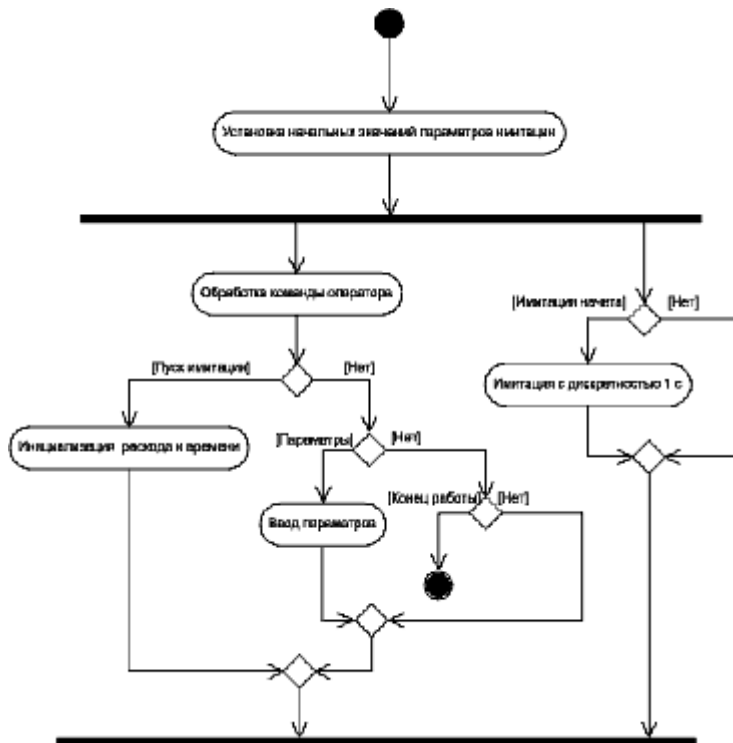


Рисунок 7 – Диаграмма активности программного имитатора расходомера “Центросоник–М”

Рисунок 8 отражает экранные формы ввода параметров имитации расходомера “Центросоник–М”, а рисунок 9 – программы экранных форм программного комплекса имитатора расходомера.

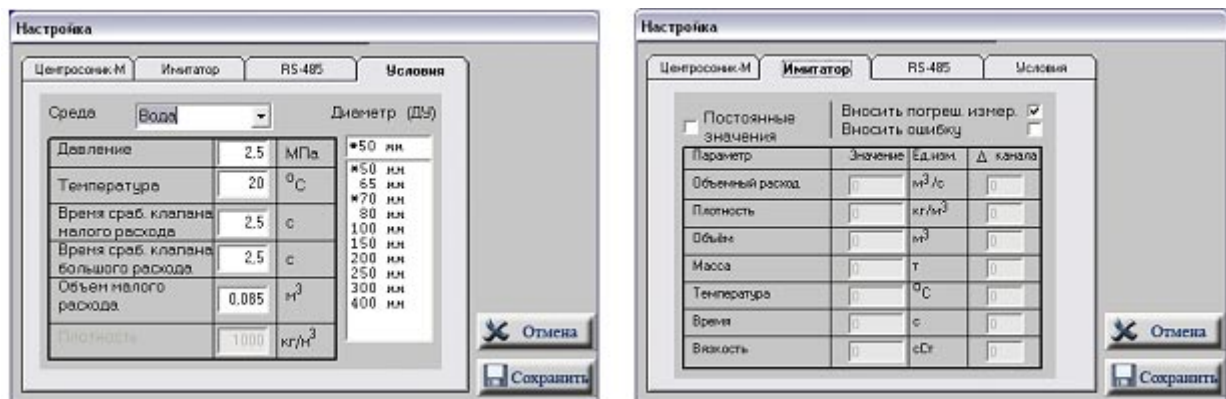


Рисунок 8 – Экранные формы ввода параметров имитации расходомера “Центросоник–М”

Основной результат четвёртого раздела – разработанные алгоритмы и комплекс программ моделирования. Выполненный комплекс исследований композитов с использованием математического и имитационного моделирования по предложенным методикам и алгоритмам составляет основу для моделирования композитов в ИКСАЛ.

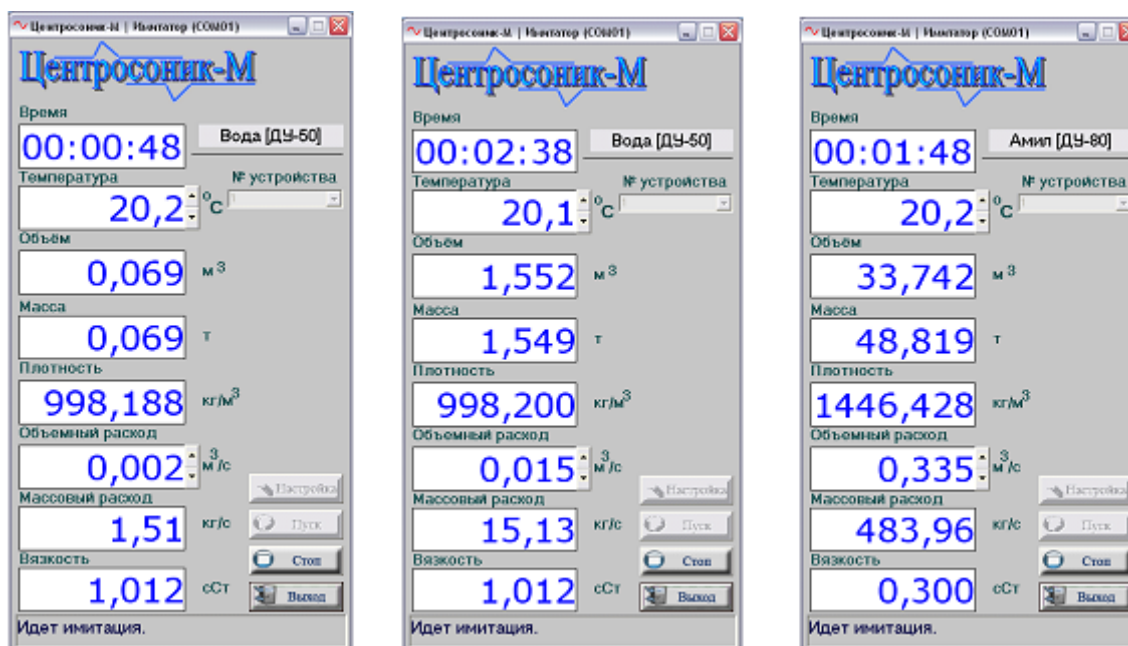


Рисунок 9 – Примеры экранных форм программного комплекса имитатора расходомера

В приложении приведены акты внедрения комплекса программ и системы компьютерного моделирования технологических процессов и элементов автоматизированных систем производства композиционных материалов.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Цель диссертационного исследования, заключающаяся в создании системы компьютерно-имитационного моделирования технологических процессов и элементов автоматизированных систем производства композиционных материалов, достигнута в процессе решения поставленных научных задач.

Результаты работы состоят в следующем.

1. Разработана система компьютерного моделирования автоматизированного комплекса производства композитов и алгоритм численного формирования массивов экспериментальных данных в имитаторах элементов автоматизированных систем производства композиционных материалов, позволяющая повысить эффективность их проектирования и испытаний, сократить затраты на их осуществление.

2. Разработана комплексная методика математического моделирования технологических процессов производства композиционных материалов в виртуально-физической среде, отличающаяся структурированием объектов по выполняемым функциям, средам, физическим законам, агрегатам и математическим моделям, что обеспечивает целостное представление о параметрах и характеристиках процессов.

3. Разработана система компьютерно-имитационного моделирования технологических процессов и элементов автоматизированных систем производства композиционных материалов. Математическое моделирование, экспериментальные исследования, промышленная апробация и эксплуатация созданных методов, методик и программных средств подтверждают высокую эффективность разработанной системы моделирования.

4. Создан комплекс программ математического моделирования технологических процессов и элементов автоматизированных систем производства композиционных материалов в условиях интегрированного комплекса сетевых автоматизированных лабораторий, обеспечивающий сокращение затрат на проектирование автоматизированных систем их производства.

5. Разработан численный алгоритм имитационного моделирования расходомера в системе дозирования компонентов композита, включающий имитационные процедуры объёмного и массового расхода жидкости при заданных условиях: диаметре условного проходного сечения трубы, давлении, температуре и типе жидкости, обеспечивающий наладку и испытания многоканального дозатора.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в журналах, рекомендованных ВАК:

1. Васильков, А.В. Ведение классификаторов в АСУ вооруженных сил / С.Ю. Поздняков, А.В. Васильков, Д.В. Мелешкин // Вопросы радиоэлектроники. Серия Системы отображения информации и управления спецтехникой. Выпуск 1. Труды научно-технической конференции “Перспективы построения АСУ специального назначения”. – Москва, 2012. – С. 42 – 48.

2. Васильков, А.В. Компьютерное моделирование технологических процессов производства композиционных материалов / А.В. Васильков, И.А. Прошин, П.В. Сюлин // XXI век: Итоги прошлого и проблемы настоящего. – 2012. – Вып. 02(06). – С. 170 – 174.

3. Васильков, А.В. Исследование математических моделей структурообразования композиционных материалов аналитическими методами / А.Н. Бормотов, И.А. Прошин, А.В. Васильков // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2011. – № 2. – С. 62 – 70.

4. Васильков, А.В. Методология построения математических моделей наномодифицированных композитов по экспериментальным данным / А.Н. Бормотов, И.А. Прошин, А.В. Васильков // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2011. – Т. 7. – № 6. – С. 28 – 34.

5. Васильков, А.В. Теоретические основы компьютерного моделирования структурообразования дисперсных систем / А.Н. Бормотов, И.А. Прошин, А.В. Васильков // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2011. – Т. 17. – №. 2. – С. 542 – 551.

6. Васильков, А.В. Компьютерное моделирование эволюции структурообразования лиофильных систем / А.Н. Бормотов, И.А. Прошин, А.В. Васильков // Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2011. – № 2. – С. 198 – 203.

7. Васильков, А.В. Компьютерное моделирование эволюции структурообразования лиофильных систем при наличии сольватных слоев / А.Н. Бормотов, И.А. Прошин, А.В. Васильков // Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2011. – № 3. – С. 165 – 171.

Прочие публикации:

8. Васильков, А.В. Электротермотренировка ПЗУ серии 556 в мелкосерийном производстве // Б.Е. Абезгауз, А.В. Васильков, В.И. Лапшин, Ю.П. Ларионов / Испытания-2011: Сборник материалов научно-технической

конференции в рамках Всероссийской научной школы “Методики, техника и аппаратура внутренних и внешних испытаний”. – Пенза, 2011. – С. 97 – 99.

9. Васильков, А.В. Архитектура программного комплекса моделирования композиционных материалов специального назначения // А.Н. Бормотов, И.А. Прошин, А.В. Васильков / Наука сегодня: Теоретические аспекты и практика применения: Сборник научных трудов по материалам Международной заочной научно-практической конференции. Часть 7. – Тамбов, 2011. – С. 37 – 39.

10. Васильков, А.В. Компьютерное моделирование эволюции структурообразования лиофильных систем при наличии сольватных слоев / А.Н. Бормотов, И.А. Прошин, А.В. Васильков // Проблемы управления, обработки и передачи информации – АТМ-2011: Сборник трудов II международной конференции. – Саратов, 2011. – С. 273 – 281.

11. Васильков, А.В. Компьютерное моделирование эволюции структурообразования лиофобных систем / А.Н. Бормотов, И.А. Прошин, А.В. Васильков // Проблемы управления, обработки и передачи информации – АТМ-2011: Сборник трудов II международной конференции. – Саратов, 2011. – С. 281 – 290.

12. Васильков, А.В. Измерение параметров гармонических сигналов во вторичных преобразователях на базе ЦОС / В.И. Лапшин, А.В. Васильков, Б.Е. Абезгауз, Ю.П. Ларионов // ДАТЧИКИ и СИСТЕМЫ – 2006: Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции. – Пенза, 2006. – С. 362 – 364.

Программы для ЭВМ:

13. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012612615. Дизайнер алгоритмов блока автоматического регулирования. Правообладатель: Общество с ограниченной ответственностью научно-производственное предприятие “Комплексы и системы”. Авторы: Васильков А.В., Абезгауз Б.Е., Учайкин Н.Н. Заявка № 2012610375 от 24.01.2012 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 13.03.2012 г.

14. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012610987. Программный комплекс имитатора расходомера Центросоник-М. Правообладатель: Закрытое акционерное общество “НИИФИ и ВТ”. Авторы: Васильков А.В., Лапшин В.И. Заявка № 2011618995 от 24.11.2011 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 23.01.2012 г.

15. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012610986. Программа управления электротермотренировкой микросхем ПЗУ/ПЛМ. Правообладатель: Закрытое акционерное общество “НИИФИ и ВТ”. Авторы: Васильков А.В., Лапшин В.И. Заявка № 2011618994 от 24.11.2011 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 23.01.2012 г.

16. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012610083. “Сетевая автоматизированная лаборатория. Специальное программное обеспечение. Исследование СГРС”. Правообладатель: Васильков А.В.. Авторы: Васильков А.В., Бормотов А.Н., Прошин Д.И., Прошин И.А., Прошина Р.Д. Заявка № 2011617304 от 30.09.2011 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 10.01.2012 г.

17. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011619036. Программа “Сетевая автоматизированная лаборатория. Специальное программное обеспечение. Управляющая программа СГРС”. Правообладатель: Васильков А.В.. Авторы: Васильков А.В., Бормотов А.Н., Прошин Д.И., Прошин И.А., Прошина Р.Д. Заявка № 2011617211 от 28.09.2011 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 18.11.2011 г.

ВАСИЛЬКОВ АЛЕКСАНДР ВАСИЛЬЕВИЧ

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ
ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ
СВОЙСТВ КОМПОЗИТОВ В УСЛОВИЯХ
ИНТЕГРИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА СЕТЕВЫХ
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ЛАБОРАТОРИЙ**

**05.13.18 □ математическое моделирование,
численные методы и комплексы программ**

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Компьютерная верстка Д.Б. Фатеева, Е.В. Рязановой

Сдано в производство 23.11.12. Формат 60x84 ¹/₁₆
Бумага типогр. №1. Печать трафаретная. Шрифт Times New Roman Cyr.
Усл. печ. л. 1,16. Уч.-изд. л. 1,17. Заказ № 2234. Тираж 100.

Пензенская государственная технологическая академия.
440605, Россия, г. Пенза, пр. Байдукова/ ул. Гагарина, 1^а/11.