

Автоматизированная система поддержки геометрического моделирования технологий лёгкой промышленности

Маргарита Чижик, Михаил Московцев, Ирина Федотова
Художественно-технологический факультет
Омский университет дизайна и технологий, Омск, Россия
margarita-chizhik@rambler.ru

Аннотация

В статье рассматривается геометрический метод решения многопараметрических, многокритериальных задач технологий лёгкой промышленности. Предлагается развитие подхода, основанного на формализованном геометрическом аппарате построений моделей пространств различной размерности и классов геометрических задач, решаемых на этих моделях. Метод предполагает отображение взаимосвязи параметров и критериев в многомерном пространстве, и определение области оптимальных параметров с использованием информационных технологий.

Ключевые слова: геометрическое моделирование, метод многомерной геометрии, алгоритмы, программный комплекс, база данных, технологии.

1. ВВЕДЕНИЕ

Приоритетные направления развития технологий лёгкой промышленности предполагают проведение комплекса дорогостоящих исследований, обобщение и систематизацию внутри отрасли полученных результатов для чего требуются принципиально новые подходы, основанные на достижениях современного моделирования и информационных технологий.

Отраслевые технологии экспериментально исследованы, теоретически описаны на основе физических и химических процессов и теории моделирования, оптимизированы с применением математических моделей и реализованы в технологических процессах, оборудовании и материалах. В то же время, использование инновационных материалов, усложнение изделий и технологий их получения повышают требования к качеству и надёжности, увеличивают объёмы исследований с большим числом статистических и экспериментальных данных, при обработке которых известные математические модели не обеспечивают заданную точность, достоверность результатов и становятся неактуальными. Поэтому требуются специальные методы и компьютерные технологии обработки, сбора, хранения и визуализации больших массивов данных.

Перспективные процессы раскрытия, соединения и обработки материалов в лёгкой промышленности базируются на прогрессивных технологиях. Их развитие и совершенствование предполагает выявление и описание взаимосвязей и количественных закономерностей, обусловленных протекающими физико-химическими процессами, разработку оборудования и технологических процессов. В результате исследований в отрасли накоплена информация, которая содержится в базах данных отдельных прикладных задач, возникает необходимость в создании научно обоснованной, методически обеспеченной единой

системы с использованием современных возможностей моделирования.

В работах отраслевые задачи исследований ставятся как многопараметрические и многокритериальные. При этом, решение таких задач сводится к однокритериальным методами векторной оптимизации (последовательных уступок или построением обобщённой функции свёртки критериев и др.), объекты исследования, между параметрами которых существует сложные взаимосвязи, не рассматриваются как функциональные пространства многих переменных, что существенно ограничивает возможности выбора вариантов решения. Построение математических моделей усложняется в случае коррелируемости параметров и необходимости учёта нескольких критериев одновременно.

Таким образом, задача разработки эффективного метода для целей исследования отраслевых технологий лёгкой промышленности является актуальной.

2. ОПИСАНИЕ ПРЕДЛАГАЕМОГО ПОДХОДА

Рассмотрим технологию как систему, компонентами которой являются материалы и технологические процессы их обработки. Компоненты системы характеризуются определённым набором параметров $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$. Состояние системы определяется критериями эффективности процесса $\{y_1, y_2, \dots, y_m\}$. Для каждого набора параметров системы экспериментально определены количественные значения критериев. Каждому из критериев можно задать значения y_i^* и возможные величины отклонения Δ_i от этих значений y_i^* : $|y_i - y_i^*| \leq \Delta_i$. Требуется для значений критериев $\{y_1^*, y_2^*, \dots, y_m^*\}$ найти область параметров в многомерном пространстве.

Для решения многопараметрической, многокритериальной задачи эффективным является применение метода геометрического моделирования. Суть метода состоит в построении многомерной модели, в которой экспериментально установленные взаимосвязи параметров и критериев геометрически определяют гиперповерхности, а заданные значения критериев y_i^* – гиперплоскости уровня. Пересечение гиперповерхностей с гиперплоскостями в n -мерном пространстве является областью параметров D_i для y_i^* , а пересечение областей $D = \bigcap_{i=1}^n D_i$ будет определять

область оптимальных параметров, общую для всех критериев.

Для реализации метода разработан формализованный геометрический аппарат построений моделей пространств различной размерности и классов геометрических задач, решаемых на этих моделях. В его основу положена известная система принципов:

1. Размерности многообразий основных объектов пространства прообразов и основных объектов пространства образов тождественно равны.

2. Структурные характеристики многообразий основных объектов пространства прообразов и основных объектов пространства образов равны.

3. Модель пространства образов определена относительно геометрических задач, которые решаются в пространстве прообразов.

В работе [1] доказано, что данной совокупности принципов наилучшим образом удовлетворяет графическая модель Радищева. На её основе разработаны и исследованы конструктивные модели поверхностей и гиперповерхностей, заданные дискретным числом экспериментально полученных 1-поверхностей или с помощью 1-поверхностей, построенных на основании таблицы уравнения регрессии, определяющего гиперповерхность. Предложено при построении многомерных моделей задавать гиперповерхности 1-поверхностями уровня или двойного уровня. Принято в качестве 1-поверхностей выбирать гладкие, непрерывные 1-поверхности, заданные интерполирующей или аппроксимирующей функцией в виде полинома или другого класса нелинейных функций.

На рисунке 1 гиперповерхности заданы многообразием 1-поверхностей уровня $abc(a_1 b_1 c_1, a_2 b_2 c_2, a_3 b_3 c_3)$ и показано построение 0-плоскости $M(M_1, M_2, M_3)$, которая принадлежит гиперповерхности.

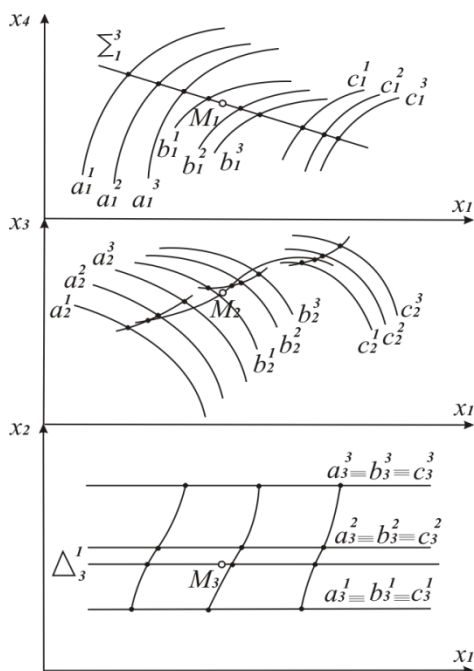


Рис 1: Конструктивная модель гиперповерхности, заданная 1-поверхностями уровня

На базе теоретических основ конструирования оптимальных моделей сформулированы алгоритмы:

- решения позиционных задач, позволяющие конструктивно на модели найти общие элементы двух и более m -мерных поверхностей;
- построения областей пересечения гиперповерхностей с гиперплоскостями уровня.

Применение разработанного геометрического аппарата даёт возможность отобразить исследуемый многомерный объект на плоскости.

В этом случае схема геометрического решения многопараметрической, многокритериальной задачи будет выглядеть следующим образом:

1. Задаётся гиперповерхность путём подбора кривых определённого класса, имеющих определённое расположение относительно исходных точек (узлов) для каждого выбранного критерия оптимизации y_i , и находятся уравнения Y_i зависимости критериев от параметров системы $Y_i(x_1, x_2, \dots, x_n)$.

2. Задаются требуемые значения критериев y_i^* , которые геометрически будут являться гиперплоскостями уровня.

3. Находится пересечение гиперповерхности с гиперплоскостью уровня в n -мерном пространстве, которое будет являться областью D_i оптимальных параметров для заданного набора критериев y_i^* .

Разработанный формализованный геометрический аппарат позволяет находить области параметров с применением геометрических алгоритмов на основе экспериментальных данных и получать результаты решений в виде графических моделей, при этом имеется возможность наглядно оценивать исследуемые объекты, оперативно устанавливать оптимальные параметры, а также прогнозировать характеристики исследуемых процессов.

3. ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОТРАСЛЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Для обеспечения эффективной информационной поддержки геометрического моделирования на основе формализованного аппарата построений геометрических моделей и их визуализации разработана автоматизированная система, основными элементами которой являются: база данных «Компоненты системы швейных изделий», программная реализация алгоритмов построения геометрических моделей «Гиперспуск» и пользовательский интерфейс.

База данных «Компоненты системы швейных изделий» [2] обеспечивает возможность хранения данных о свойствах материалов, пакетов материалов; параметрах процессов; нормативах критериев; результатов проведённых экспериментальных исследований. В качестве источников данных используются результаты исследований влияния технологических параметров сварного и ниточного соединения текстильных материалов на физико-механические свойства швов; влияния технологических параметров дублирования на физико-механические свойства клеевых соединений; теплозащитных свойств швейных изделий.

Разработка программной компоненты «Гиперспуск» [3] осуществлялась с использованием языка программирования Python. Структура программной библиотеки включает два класса (Рис. 2).

Основной класс используется для работы с базой данных, кластеризации точечных данных, выполнения операций по построению сечений гиперплоскостями уровня и поиска пересечения двух и более гиперповерхностей в пространствах с совпадающими размерностями.

Вспомогательный класс предназначен для обработки кластеров точек и кривых на плоскости и содержит три базовые группы алгоритмов.

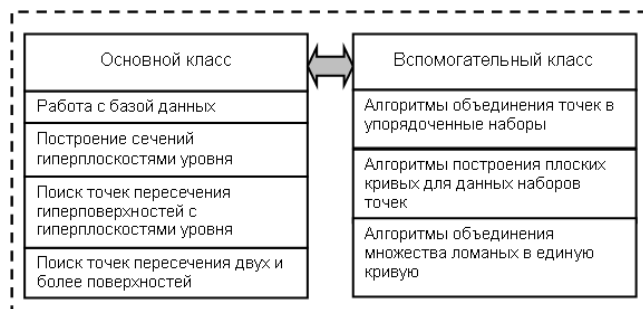


Рис 2: Структура программной библиотеки.

Для взаимодействия пользователя со всеми компонентам АС разработан интерфейс в объектно-ориентированной среде Delphi 7. Интерфейс реализует следующие основные функции:

- создание нового эксперимента (Рис. 2);
- просмотр, модификация и удаление хранящихся в базе результатов экспериментов (Рис. 3);
- формирование и визуализация гиперповерхностей взаимосвязи параметров и критериев (Рис. 4).

Пользовательский интерфейс обеспечивает визуализацию результатов моделирования и адекватный контроль пользователя над процессом выполнения.

Таким образом, реализована возможность выполнять построения гиперповерхностей по имеющимся точкам, координаты которых представляют собой значения различных параметров технологических процессов, полученных в результате экспериментов, при этом, производить сечение гиперповерхностей гиперплоскостями определённого уровня, значения которых задаются пользователем. АС позволяет избежать целых серий экспериментов, автоматизировать процесс построения области параметров и является универсальным средством для моделирования многомерных задач лёгкой промышленности.

4. ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Данный геометрический подход был применён к решению технологических задач лёгкой промышленности, в частности, при определении оптимальных параметров ниточного соединения полиэфирных тканей.

Сформулируем задачу: имеется система ниточного соединения, полученного при различных условиях. Выделим технологические параметры: линейная плотность швейных ниток (h , текс); количество стежков на 1 см строчки (k , шт). Критерии эффективности процесса: разрывная нагрузка шва (P , кгс) и жёсткость шва (EI , мкН·см²). Зададим критериям произвольные значения $P = 130$ кгс и $EI = 250000$ мкН·см². Требуется для заданных значений критериев найти область оптимальных параметров ниточного соединения.

Данные по исследованию параметров ниточного соединения хранятся в таблицах базы данных.

По результатам эксперимента, представленных в табличной форме, для каждого набора значений параметров определены значения показателей, выбранных в качестве критериев.

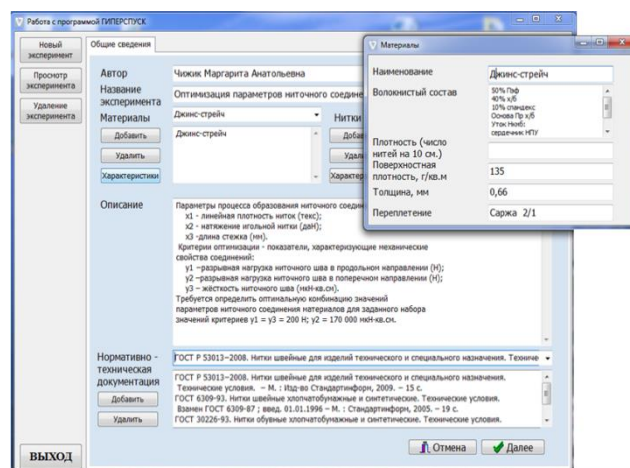


Рис. 2: Окно создания нового эксперимента.

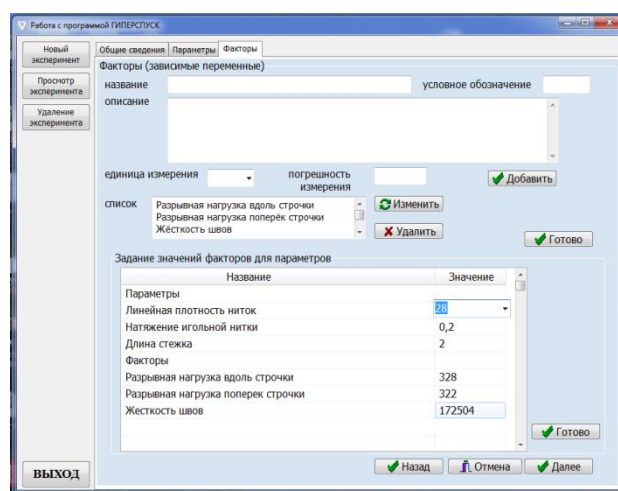


Рис. 3: Окно формирования сводной таблицы экспериментальных данных

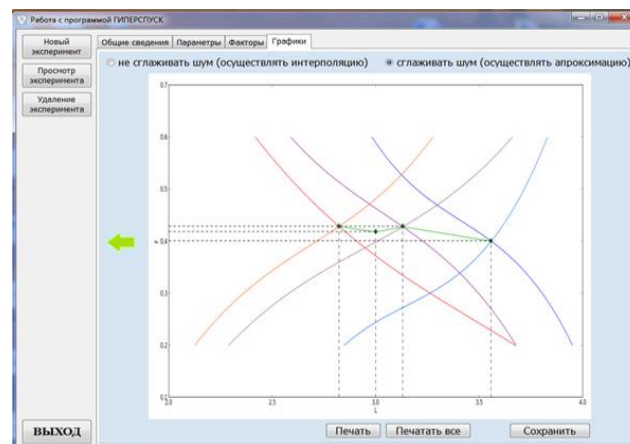


Рис. 4: Окно формирования гиперповерхностей поверхностей.

Результатом моделирования является геометрическая модель (Рис. 5), построение которой по исходной таблице эксперимента осуществляется программой «Гиперпуск».

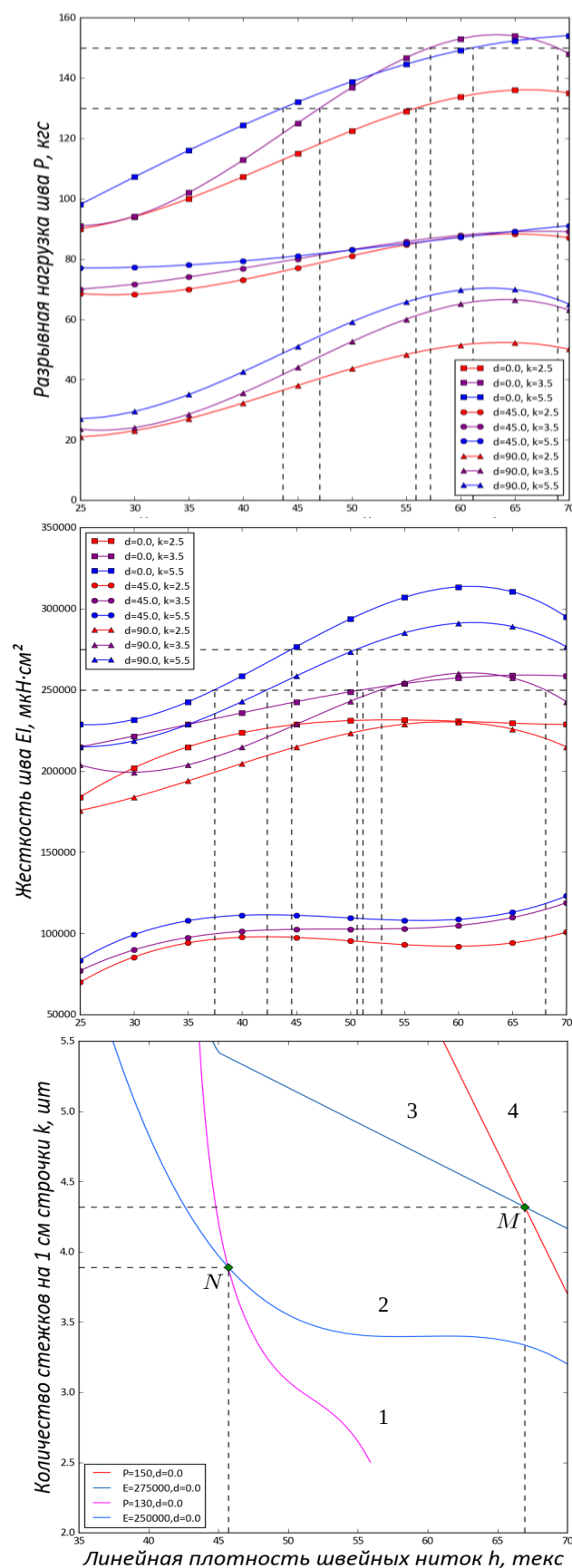


Рис 5: Геометрическая модель ниточного соединения.

На модели представлены гиперповерхности взаимосвязи разрывной нагрузки и жёсткости шва с линейной плотностью швейных ниток и количеством стежков на 1 см строчки (верхняя часть рисунка 5); каждая кривая на чертеже соответствует определённому числу стежков в 1 см строчки.

Определим технологические параметры получения ниточной строчки, у которой разрывная нагрузка шва не менее $R = 130$ кгс, а жёсткость $EI = 250000$ мкН·см².

Для этого зададим уровни значений критериев (показаны пунктиром) и получим линии сечений, которые определяют область параметров для каждого критерия (нижняя часть рисунка 5).

Параметры получения ниточного шва для заданной разрывной нагрузки определяются линией (1), а для требуемой жёсткости – (2). Их пересечение определяет точку N, которая является искомой областью оптимальных параметров.

По геометрической модели установлено, что ниточное соединение, у которого разрывная нагрузка $P = 130$ кгс и жёсткость $EI = 250000$ мкН·см² можно получить при соблюдении следующих параметров: линейная плотность ниток $h = 46$ текс и количество стежков в 1 см строчки $k = 3,8$.

Определим параметры получения ниточного шва, у которого разрывная нагрузка не менее $P = 150$ кгс, а жёсткость $EI = 255000$ мкН·см². Этому условию соответствуют линии (3, 4), пересекающиеся в точке M. Координаты данной точки определяют оптимальную линейную плотность ниток $h = 68$ текс и количество стежков в 1 см строчки $k = 4,5$ для заданных значений критериев.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный геометрический подход, предполагающий отображение взаимосвязи параметров и критериев в многомерном пространстве, и определение области оптимальных параметров с использованием автоматизированной системы, позволяет заменить эксперимент исследованиями на моделях с требуемой точностью, и применён к многопараметрическим, многокритериальным задачам технологий лёгкой промышленности. Основные положения разработанного подхода применимы при разработке новых, совершенствовании и внедрении существующих технологий в различных отраслях экономики.

Работа выполнена в рамках базовой части государственного задания в сфере научной деятельности по Заданию № 2014/319 «Разработка механизмов оптимизации использования многокомпонентных систем материалов на предприятиях лёгкой промышленности» № 258.

ССЫЛКИ

- [1] Волков, В. Я. Графические оптимизационные модели многофакторных процессов / В. Я. Волков, М. А. Чижи́к. – Омск : Издательство учебной, научной литературы и учебно-методических пособий, ОГИС, 2009. – 101 с. Ссылка 1.
- [2] Свидетельство об отраслевой регистрации базы данных № 2015620223 «Компоненты систем швейных изделий» / Д. В. Доркин М. Н., Московцев, М. А. Чижи́к. – № 2014621994/69 ; заяв. 24.12.2014 ; дата регистрации 09.02.2015. Ссылка 2.

[3] Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014610165. «Гиперспуск» / М. А. Чижик, М. Н. Московцев, Д. П. Монастыренко, Д. В. Доркин. – № 2013618421/69 ; заяв. 19.07.2013 ; дата регистрации 09.01.2014. *Ссылка 3.*

Об авторах

Маргарита Чижик – профессор ОмУДТ. Её адрес:

margarita-chizhik@rambler.ru

Михаил Московцев – ассистент ОмУДТ. Его адрес:

mnorthwind@gmail.com

Ирина Федотова – старший преподаватель ОмУДТ. Её адрес:

igrig64@mail.ru