

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ
ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА**

Denis Zharin, Ayrat Zagidullin, Azat Gumerov, Lenar Shafigullin

Камская государственная инженерно-экономическая академия, 423810, Naberezhnyi Chelny

Abstract

In article the structurally functional model of system of the computer-aided technologies (CAx) composite materials which separate components are constructed with use of elements of artificial intelligence is presented. Distinctive feature given CAx is presence of modules: the planning of experiments based on use of a neural network; knowledge bases; it is a lot of criteria optimization; forecasting of properties taking into account critical indexes, macrostructural topology of composit system. The software of the module of forecasting is constructed on the basis of application of modern theories of synergetics, перколяции and structurally-phase transitions in KM. CAx the KM allows to lower essentially expenses for designing of products from KM at the expense of minimization of expenses on definition of optimum structures.

Key words: *composit materials, physicomechanical properties, it is a lot of criteria optimization, system of the computer-aided technologies.*

Технический прогресс вызывает необходимость создания полимерных композиционных материалов (КМ) с требуемыми физико-механическими и технологическими свойствами. Для решения данной задачи требуется использование значительного объема справочной информации, планирование и проведение экспериментов, их математическая обработка с применением современных пакетов прикладных программ (Microsoft Excel, Mathlab, MatCAD, Ansys).

В настоящее время большую популярность получили системы автоматизированного проектирования (САПР), позволяющие объединить и структурировать различные этапы проектирования композитных материалов и изделий.

При автоматизированном проектировании композиционных материалов и изделий необходимо учесть их структурные и технологические особенности: неоднородность структуры, зависимость свойств от вида и концентрации матричных компонентов и наполнителей, анизотропию свойств, влияние технологических параметров производства: температуры, давления, влажности.

На рисунке 1 представлена структурная модель САПР КМ.

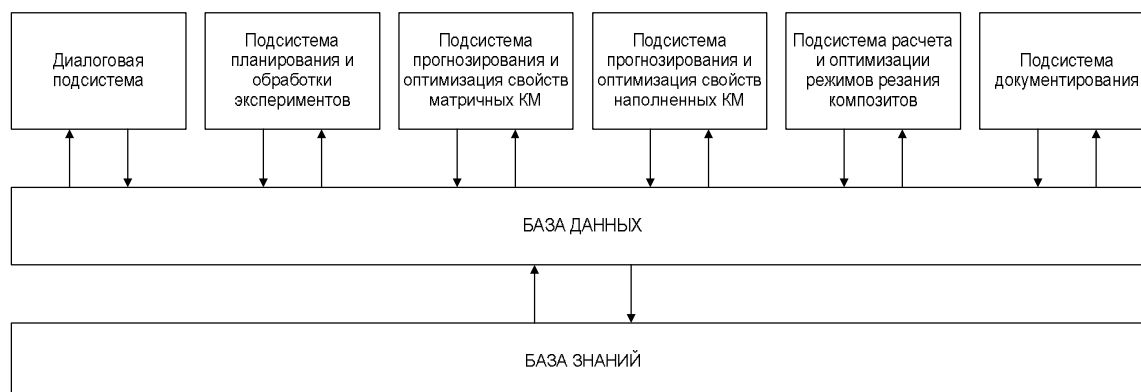


Рисунок 1. Структурно модель САПР КМ

Разработанная САПР КМ позволяет:

1. Разработать оптимальные составы КМ на основе выбранных компонентов и функционального назначения композита – «прямая задача» САПР КМ (рисунок 2).
2. На основе требуемых физико-механических, технологических и экономических показателей подобрать и рассчитать наиболее близкий состав КМ – «обратная задача» САПР КМ (рисунок 3).

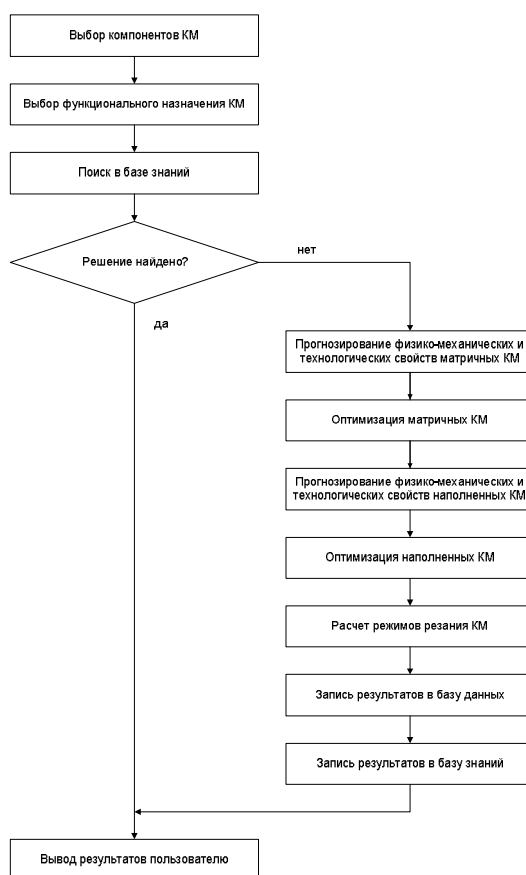


Рисунок 2. Схема «прямой задачи» САПР КМ

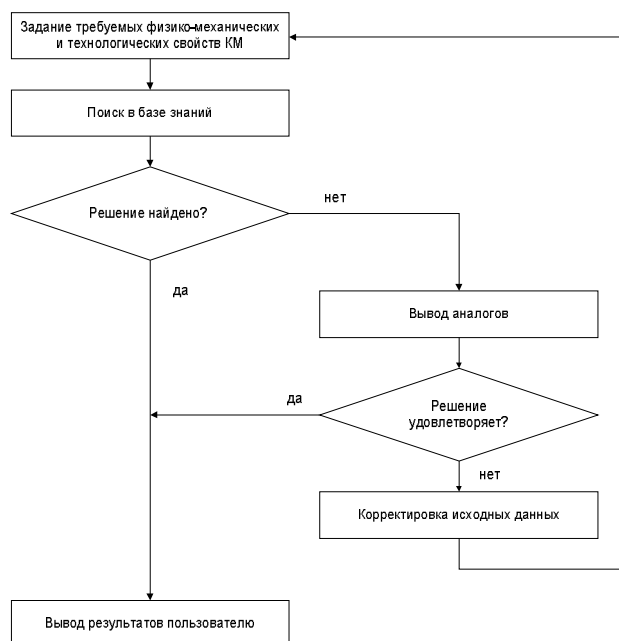


Рисунок 3. Схема «обратной задачи» САПР КМ

Для определения оптимального состава матричных многокомпонентных КМ необходимо получить представление о некоторой целевой функции

$$F = \varphi(x_1, x_2, \dots, x_k), \quad (1)$$

где F – параметры процесса, подлежащие оптимизации, а $x_1, x_2, \dots, x_k$ – независимые переменные, которые можно варьировать при постановке эксперимента (матричные и наполненные компоненты КМ) [1].

Поскольку исследование процесса ведется при неполном знании механизма явлений, естественно считать, что аналитическое выражение целевой функции неизвестно, в связи с чем ее приходится представлять в виде уравнения регрессии, коэффициенты которого находятся на основании экспериментальных данных.

В САПР КМ регрессионный анализ сочетается с идеей планирования эксперимента, которая заключается в том, что на каждом этапе исследования нужно выбрать оптимальное в некотором смысле расположение точек в факторном пространстве так, чтобы получить некоторое представление о поверхности целевой функции.

Для планирования экспериментов в САПР КМ использованы два метода:

- метод комбинаторных квадратов, учитывающего множество варьируемых компонентов при планировании рецептуры композитного материала;
- метод ротатбельного планирования, рассматривающего небольшое число изменяемых компонентов, однако учитывающий влияние физико-химического взаимодействия между компонентами дисперсной системы на показатели свойств композиционного материала.

Выбор метода планирования экспериментов и подбор уравнений регрессии выполняется блоком планирования экспериментов САПР КМ. Коэффициенты уравнений регрессии заносятся в базу знаний.

В качестве физико-механических и технологических свойств, учитываемых при проектировании КМ использованы: динамический модуль упругости E_d , предел прочности на растяжение при изгибе $R_{изг}$, предел прочности при одноосном сжатии $R_{сж}$, твёрдость по Бринеллю $HB_{бр}$, твёрдость по Гепплеру HB_g , условно-мгновенный модуль упругости E_o , равновесный модуль упругости $E_{ув}$, ударная вязкость A , массопоглощение m_t , коэффициент химической стойкости $K_{х.с.}$, коэффициент поглощения звука K_z , коэффициент внутреннего трения Q^{-1} .

Следующим этапом проектирования КМ является прогнозирование физико-механических и технологических свойств наполненных композитов, с учетом найденных оптимальных значений рассматриваемых показателей матричных КМ на предыдущем этапе, которое реализовано в модуле прогнозирования свойств наполненных КМ. Модели хранятся в базе знаний. Для описания исследуемых свойств используются уравнения регрессий, получаемых в модуле планирования экспериментов, и модели, полученные на основе применения современных теорий синергетики, перколяции и структурно-фазовых переходов в КМ [2], в том числе:

- для динамического модуля упругости [3]

$$E_c = E_m (1 + \alpha_E \cdot v^{t_3}), \quad (2)$$

где $\alpha_E = E_1 / E_m$; E_m – динамический модуль упругости полимерной матрицы; E_1 – динамический модуль упругости единичного цепочечного элемента перколяционного каркаса, $t_3=1.58$ – критический индекс.

- для коэффициента поглощения звука [4]

$$K_z = K_{з.м.} (1 + \alpha_\kappa \cdot g^{\gamma_3}). \quad (3)$$

где $K_{з.м.}$ – коэффициент поглощения звука полимерной матрицы; $\alpha_\kappa = \frac{K_z}{K_{з.м.}}$ – коэффициент поглощения звука единичного структурного элемента композита; $\gamma_3 = 1.23$ – критический индекс.

- для коэффициента внутреннего трения [5]

$$Q_c^{-1} = Q_m^{-1} (1 + \alpha_{Q^{-1}} \cdot v^{\gamma_3}), \quad (4)$$

где Q_m^{-1} – коэффициент внутреннего трения матричного материала; $\alpha_{Q^{-1}} = \frac{Q_1^{-1}}{Q_m^{-1}}$; Q_1^{-1} – коэффициент внутреннего трения единичного цепочного тупикового элемента.

- для предела прочности при одноосном сжатии [6]

$$R_{сж.с} = R_{сж.м} (1 + \alpha_{сж} \cdot g^{\gamma_3}), \quad (5)$$

где $R_{сж.м}$ - предел прочности при одноосном сжатии матричного материала; $\alpha_{сж} = \frac{R_{сж.1}}{R_{сж.м}}$; $R_{сж.1}$ - предел прочности при одноосном сжатии единичного элемента композита; $\nu_3=0.82$ - критический индекс.
- для твердости [6]

$$HB_{бр.с}(\vartheta) = \frac{R_{сж.с}(\vartheta)}{K_{сж}} = \frac{R_{сж.м} \cdot (1 + \alpha_{сж} \cdot \vartheta^{\nu_3})}{K_{сж}}, \quad (6)$$

где $HB_{бр.м}(\vartheta)$ - твёрдость матричного материала; $K_{сж}$ - коэффициент пропорциональности между $R_{сж.с}(\vartheta)$ и $HB_{бр.с}(\vartheta)$, характеризующий зависимость между объёмными и поверхностными свойствами композита: $K_{сж} = \frac{R_{сж.м}}{HB_{бр.м}}$.

Модуль прогнозирования свойств САПР КМ на основе введенных экспериментальных данных подбирает наиболее близкие к ним зависимости и определяет численные значения параметров уравнений.

Оптимизация наполненных КМ выполняется в модуле оптимизации. Для оптимизации физико-механических и технологических свойств КМ используют методы многокритериальной оптимизации. В САПР КМ в качестве метода оптимизации выбран метод линейной свертки. Оптимальное содержание наполнителя определяется из условия максимума целевой функции $F(\vartheta)$:

$$F(\vartheta) = c_1 \cdot \frac{f_1(\vartheta)}{f_{n1}(\vartheta)} + c_2 \cdot \frac{f_2(\vartheta)}{f_{n2}(\vartheta)}. \quad (7)$$

где ϑ - объемное содержание наполнителя; $f_1(\vartheta)$ - функция, определяемая физико-механическими и технологическими показателями; $f_2(\vartheta)$ - функция, определяемая стоимостью компонентов композиционных материалов; $f_{n1}(\vartheta)$, $f_{n2}(\vartheta)$ - нормирующие значения соответствующих показателей; c_1 , c_2 - весовые коэффициенты ($\sum_{i=1}^2 c_i = 1$), которые определяются условиями эксплуатации композиционных материалов.

Для решения данной одномерной задачи оптимизации в САПР КМ использован метод «золотого сечения», позволяющего за минимальное количество итераций определить оптимальное количество дисперсного наполнителя в композите. Результаты расчетов заносятся в базу знаний. Алгоритм прогнозирования и оптимизации наполненных КМ представлены на рисунке 4.

Разработанная САПР КМ имеет блок расчета режимов резания композитов (рисунок 5, 6).

Использование разработанной САПР КМ при проектировании материалов и изделий из композитов позволило существенно снизить временные затраты на проектирование, за счет уменьшения количества опытов, оптимизации составов с учетом экспертных оценок и применения масштабируемой и пополняемой базы знаний. В таблице представлены оптимальные составы КМ применяемых в качестве футеровочных плит, элементов фитинговых систем в различных машиностроительных изделиях.

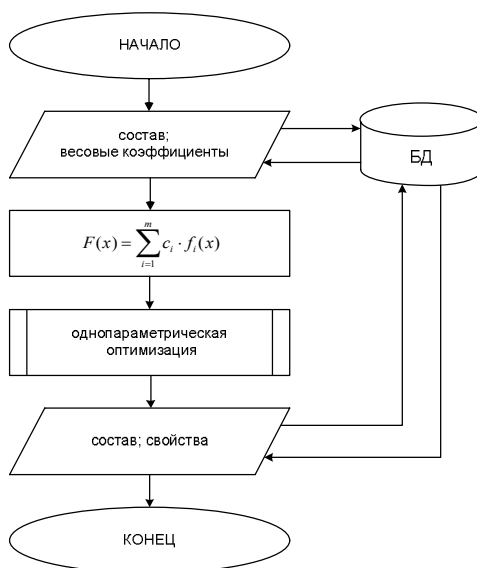


Рисунок 4. Алгоритм прогнозирования и оптимизации наполненных КМ

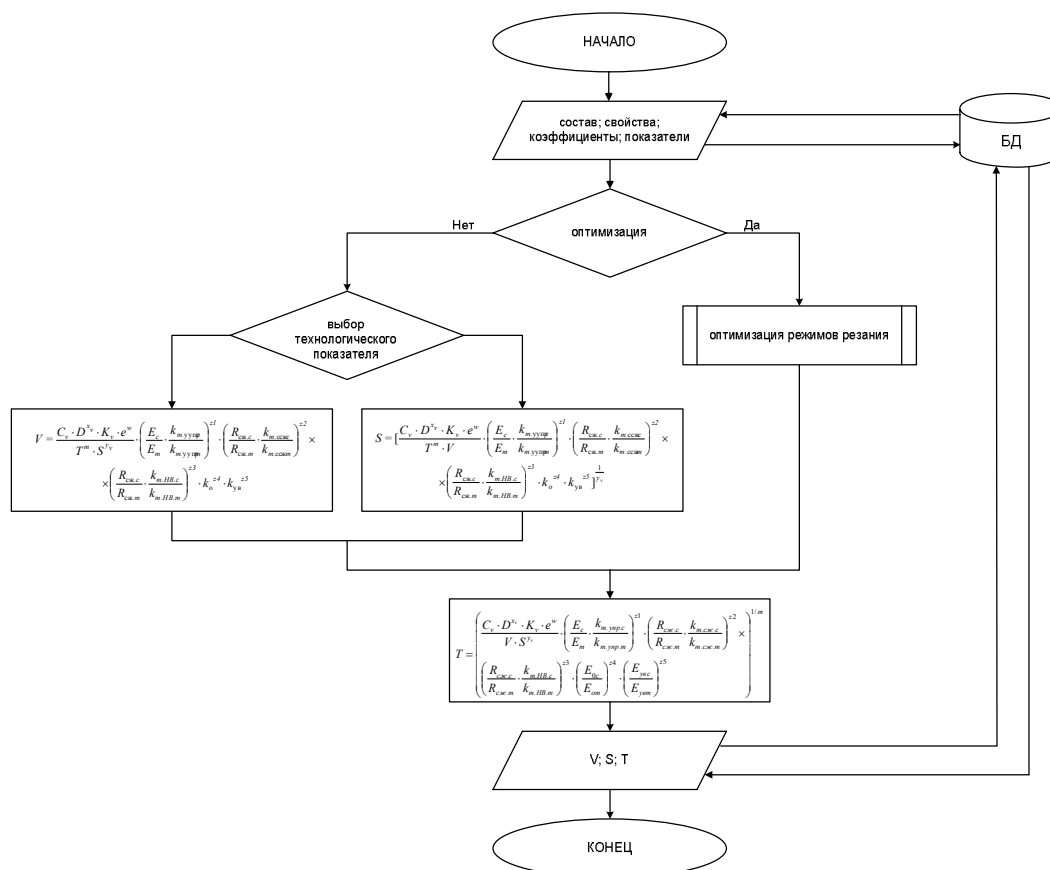


Рисунок 5. Алгоритм расчета режимов резания при сверлении

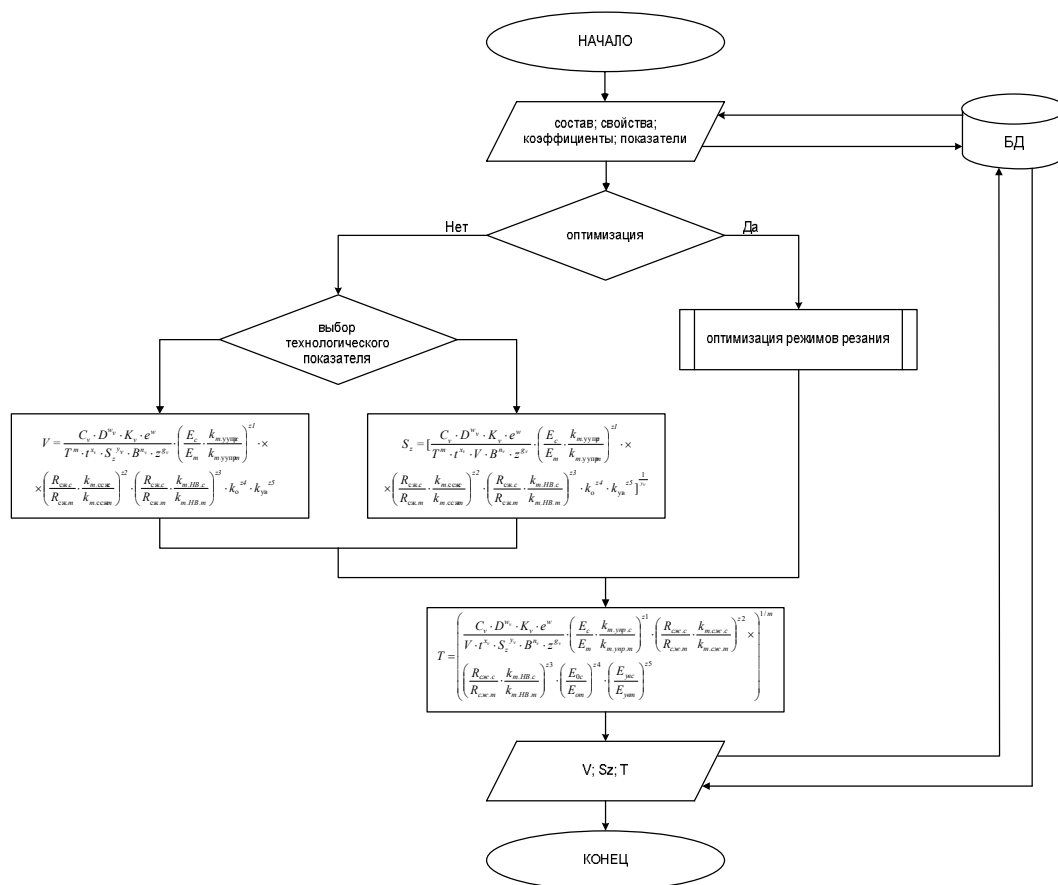


Рисунок 6. Алгоритм расчета режимов резания при фрезеровании

Таблица. Оптимизированные составы полимерных композиционных материалов

№	Состав				
	Полимерная смола	Отвердитель масс. ч. на 100 масс. ч. смолы	Модификатор масс. ч. на 100 масс. ч. смолы	Пластификатор масс. ч. на 100 масс. ч. смолы	Объемное содержание наполнителя
1	ЭД-20	ТЭПА 11	-	ДБФ 5	Диабаз v=0,3
2	ЭД-20	ТЭПА 11	-	ДБФ 5	Маршалит v=0,3
3	ЭД-20	ТЭПА 11	-	ДБФ 5	Цемент v=0,3
4	ЭД-20	ТЭПА 11	-	ДБФ 5	Аэросил v=0,3
Футеровочные плиты					
5	540-М 888	Пероксид 2,5	-	-	Диабаз v=0,4
6	540-М 888	Пероксид 2,5	-	-	Маршалит v=0,4
7	540-М 888	Пероксид 2,5	-	-	Цемент v=0,4
8	ЭД-20	ПЭПА 11	-	ДБФ 5	Диабаз v=0,4

Journal of International Scientific Publications:
Materials, Methods & Technologies, Volume 6, Part 3

	ЭД-20	ПЭПА 11	-	ДБФ 5	Маршалит $\nu=0,4$
	ЭД-20	ПЭПА 11	-	ДБФ 5	Цемент $\nu=0,4$
продолжение таблицы					
	ЭД-20	ПЭПА 11	-	ДБФ 5	Аэросил $\nu=0,4$
12	ЭД-20	ПЭПА 11	-	ДБФ 5	Гранитный порошок $\nu=0,4$
	540-М 888	Пероксид 2,5	-	-	Аэросил $\nu=0,4$
14	ЭД-20	ПЭПА 11	Сарэл 04 10	-	Диабаз $\nu=0,3$
15	ЭД-20	ПЭПА 11	Сарэл 04 10	-	Диабаз $\nu=0,4$
16	ЭД-20	ПЭПА 11	Сарэл 04 10	-	Маршалит $\nu=0,3$
17	ЭД-20	ПЭПА 11	Сарэл 04 10	-	Маршалит $\nu=0,4$
18	ЭД-20	ПЭПА 11	Сарэл 04 10	-	Цемент $\nu=0,3$
19	ЭД-20	ПЭПА 11	Сарэл 04 10	-	Цемент $\nu=0,4$
20	ЭД-20	ПЭПА 11	Сарэл 04 10	-	Аэросил $\nu=0,4$

REFERENCES

1. Математическое моделирование и оптимизация состава бурового раствора/ Линд Ю.Б., Клеттер В.Ю.// Тезисы докладов к VIII Всероссийской конференции молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям: Новосибирск, 2007.
2. Синергетика композитных материалов / В.И. Соломатова [и др.]. - Липецк: НПО "ОРИУС", 1994. - 153 с.
3. Курин С.В. Прогнозирование модуля упругости полимерных композиционных материалов для изделий машиностроения: Автореф.дис. ... канд.техн. наук. – Набережные Челны, 2011. - 22 с.
4. Гумеров М.И. Разработка композиционных материалов с повышенными вибро-звукопоглощающими свойствами для установочных пластин токарных станков: Автореф.дис. ... канд.техн. наук. – Набережные Челны, 2010. - 21 с.
5. Жарин Д.Е. Научные основы получения вибропоглощающих строительных полимерных композитов: Автореф. ... доктор. техн. наук. - Казань: 2006. - 46 с.
6. Шафигуллин Л.Н. Исследование высокотехнологичных композиционных материалов с заданными физико-механическими свойствами для изделий машиностроения: Автореф.дис. ... канд.техн. наук. – Набережные Челны, 2009. - 20 с.