

Программное обеспечение параметрической оптимизации технологической системы механической обработки

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»*

Рассмотрены структура и характеристики вычислительного ядра параметрической оптимизации технологической системы. Ядро позволяет полностью реализовать метод комбинаторно–оптимизационного проектирования, который обеспечивает выбор эффективной конфигурации технологической системы механической обработки по заданному критерию при минимальной дополнительной адаптации метода к конкретному производству. Основу вычислительного ядра составляет модифицированный генетический алгоритм ранговой селекции. Генетический алгоритм реализован в виде СОМ – объекта на языке MatLab 2010. Для формирования математических моделей параметрической оптимизации технологических систем механической обработки разработана прикладная библиотека Simulink.

Ключевые слова: генетический алгоритм, библиотека классов, искусственные нейронные сети, многоуровневое программирование, нейрон, динамическая библиотека.

Анализ особенностей решения комбинаторно–оптимизационных задач в технологическом проектировании и формулирование цели работы

Выбор параметров, обеспечивающих эффективность технологической системы, можно разделить на два этапа. На первом этапе подбирают технологическое оснащение, а на втором этапе – режимные параметры, обеспечивающие эффективность работы технологической системы при фиксированных свойствах технологического оснащения.

Следовательно, если эффективность системы не удовлетворяет проектировщика, ему необходимо вернуться на уровень выбора технологического оснащения и подобрать такие элементы технологического оснащения, которые обеспечат необходимый уровень эффективности технологической системы. Классический пример этого поэтапного итерационного процесса – расчет режимов резания на операцию и проверка по мощности станка. Если мощность резания больше мощности привода главного движения, нужно либо заменить станок, либо изменить другие свойства структурных элементов, входящих в технологическую операцию.

Такие комбинаторно–оптимизационные задачи решают с помощью метода многоуровневого программирования. Особенности разработки математических моделей многоуровневого программирования для технологических систем механической обработки рассмотрены автором в работах [1, 2].

Задача верхнего уровня (ведущий элемент) – оптимизация выбора технологического оснащения из существующих множеств по заданному критерию эффективности. Задача нижнего уровня (ведомый элемент) – оптимизация выбора режимных параметров для фиксированных свойств элементов технологической системы.

Ведущий элемент влияет на реакции ведомых элементов изменением параметров технологической операции. У ведомого элемента остаются полномочия, позволяющие решать, как подобрать оптимальное сочетание режимных параметров для текущих элементов технологической операции.

Обобщенная математическая модель двухуровневого программирования для технологической системы механической обработки имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} f^* = \underset{\bar{x} \in \bar{X}}{\text{opt}} \{ f(\bar{x}, \bar{y}) \} \\ \bar{X} = \left\{ \bar{x}_i : (x_1, x_2, \dots, x_n), j = \overline{1, n}, (x_j \in Et_j) \wedge \left(\bigwedge_{k=1}^m (G_k(\bar{x}_i) \leq 0) = 1 \right) \right\} \\ Et_j = \{ et_i, i = \overline{1, s} : A(et_i) = 1 \}, f : \bar{X} \times \bar{Y} \rightarrow Ne_f \\ q^* = \underset{\bar{y} \in \bar{Y}}{\text{opt}} \{ q(\bar{x}, \bar{y}) \} \\ \bar{Y} = \left\{ \bar{y}_i : (y_1, y_2, \dots, y_n), j = \overline{1, n}, (y_j \in Pt_j) \wedge \left(\bigwedge_{k=1}^m (g_k(\bar{x}_i, \bar{y}_i) \leq 0) = 1 \right) \right\} \\ Pt_j = \{ pt_i, i = \overline{1, s} : R(pt_i) = 1 \}, q : \bar{X} \times \bar{Y} \rightarrow Ne_q \end{array} \right. , (1)$$

где f^* – оптимальное значение целевой функции ведущего элемента;

\bar{X} – множество векторов, характеризующих изменяемые свойства элементов технологического оснащения;

n – число независимых переменных, описывающих свойства элементов технологического оснащения;

x_j – переменная, отражающая конкретное свойство элемента технологического оснащения;

Et_j – опорное множество переменной x_j ;

$G_k(\bar{x}_i)$ – технические ограничения на целевую функцию;

$A(et_i)$ – предикатная формула, описывающая свойство, по которому выделяют опорные множества для переменных. (например, элемент есть стойкость инструмента) Такое выражение позволяет выделить множество стойкостей, соответствующих конкретному инструменту;

f – отображение, которое ставит в соответствие множество сочетаний свойств технологического оснащения и режимных параметров $\bar{X} \times \bar{Y}$ множеству значений критерия эффективности Ne_f ;

q^* – оптимальное значение целевой функции ведомого элемента;

\bar{y} – вектор режимных параметров;

\bar{Y} – множество векторов режимных параметров;

y_j – элемент вектора режимных параметров, который описывает конкретное значение режимного параметра, взятое из опорного множества Pt_j ;

$g_k(\bar{x}_i, \bar{y}_i)$ – технические ограничения на функцию ведомого элемента;

q – отображение, аналогичное f только для ведомого элемента.

Задачи такого типа являются комбинаторно–оптимизационными, для решения которых используют методы дискретной оптимизации [3]. На практике для решения этих задач эффективно применяют генетических алгоритмы [4].

Цель данной работы – разработка вычислительного ядра параметрической оптимизации технологической системы (ВЯПОТС) для решения задач оптимизации технологической системы на основе генетических алгоритмов.

Структура и характеристики ВЯПОТС

Структура программного обеспечения, реализующего все основные функции ВЯПОТС, показана на рис. 1.

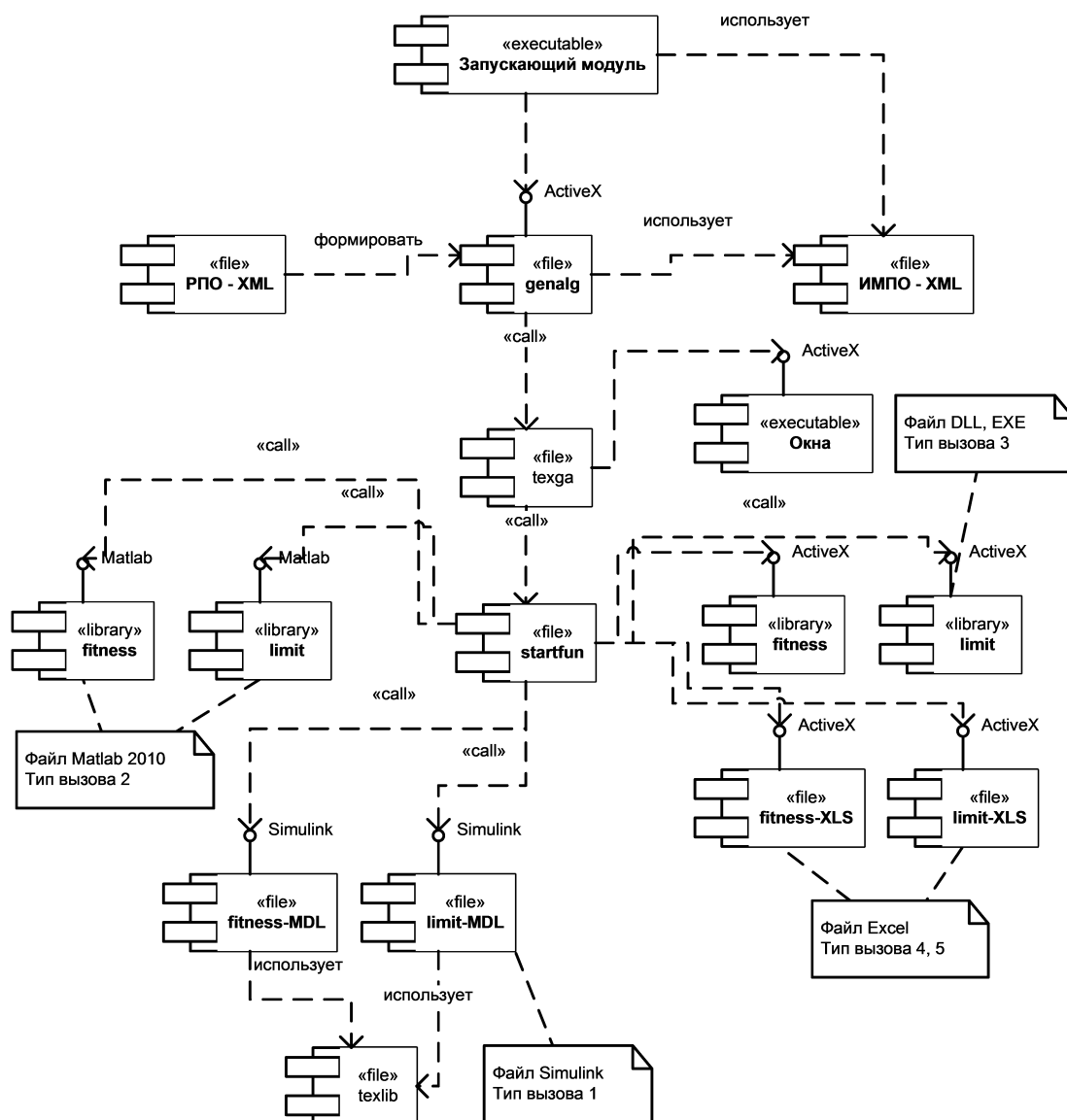


Рис. 1. Структура и интерфейсы ВЯПОТС

Здесь запускающая программа, используя данные файла (см. рис. 2) информационной модели параметрической оптимизации (ИМПО), обращается к основной программе оптимизации (genalg), работающей под управлением системы

MatLab2010, через ActiveX интерфейс.

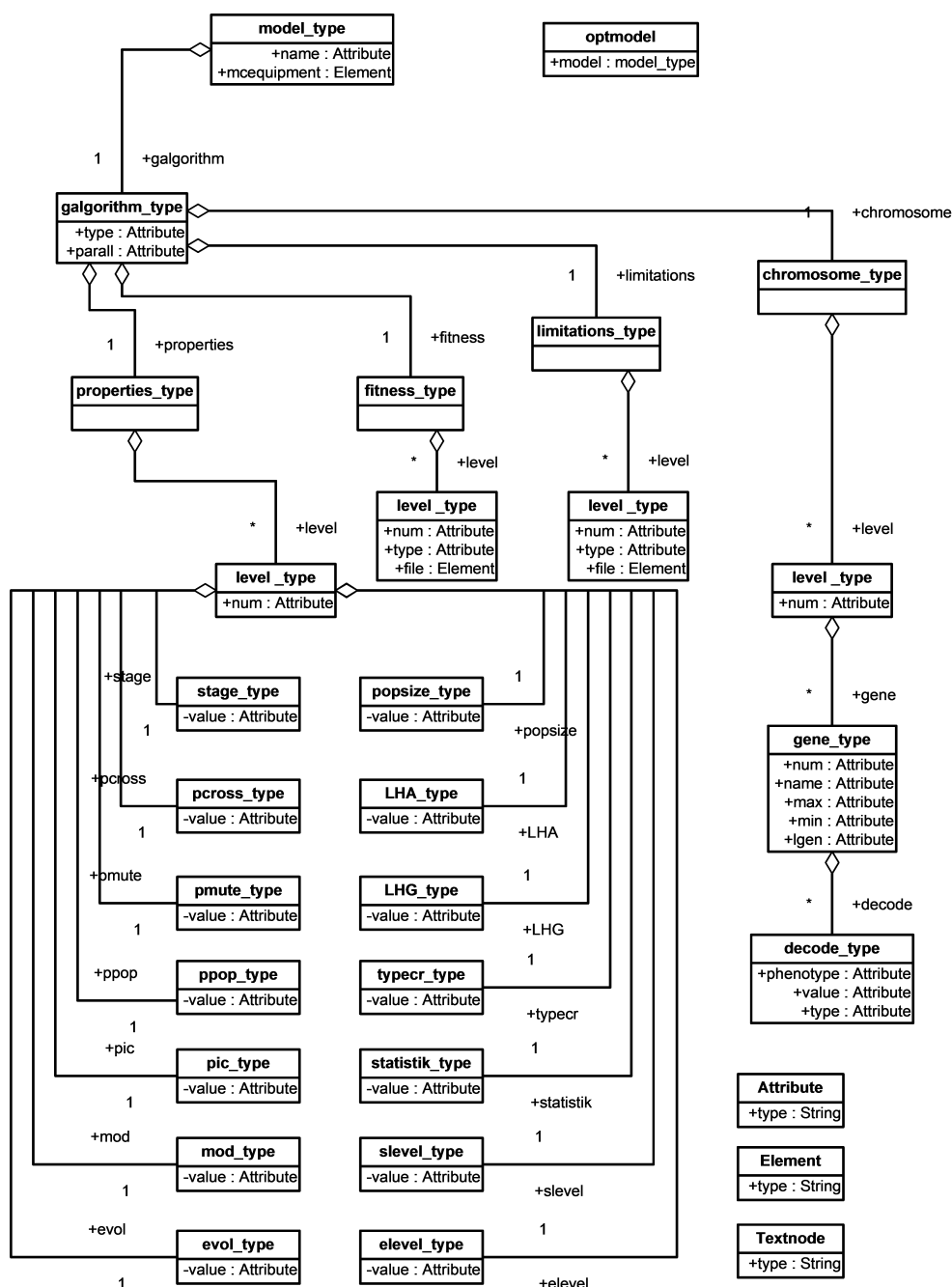


Рис. 2. Информационная модель параметрической оптимизации

Исходные данные представляют в виде файла модели на базе XML разметки. Модель имеет два основных раздела – генетический алгоритм (galgorithm) и хромосома начального приближения (mcequipment). В первом разделе указывают: свойства генетического алгоритма (properties); ссылка на алгоритмическую модель функции фитнесса (fitness); ссылка на алгоритмическую модель технических ограничений (limitations); структура хромосом (chromosome) по уровням. Структура хромосомы отражается набором генов (gene) по уровням (level). Каждый ген имеет порядковый номер в хромосоме, по которому идентифицируется алгоритмом, и имя, используемое пользователем при формировании модели. Фенотип здесь –

это целочисленный код реального значения гена, поэтому каждый ген дополняется множеством значений фенотипов и соответствующих им реальных значений генов (decode). Данное множество используется алгоритмом для преобразований при вычислении функции фитнеса или значений технических ограничений. Хромосома начального приближения задается в виде матрицы, записанной по правилам MATLAB. Матрица состоит из одной строки, если алгоритм одноуровневый, и из двух, если алгоритм двухуровневый. Поскольку хромосомы верхнего и нижнего уровней редко совпадают по количеству генов, недостающие места заменяют значением – inf. В ячейках матрицы задаются реальные значения генов.

Основная программа выполняет грамматический разбор файла ИМПО, который содержит параметры оптимизации, и вызывает модуль, реализующий модифицированный генетический алгоритм ранговой селекции (texga). Данный модуль использует модели функции фитнеса (fitness) и технических ограничений (limit) для работы генетического алгоритма. ВЯПОТС обеспечивает пять типов возможных моделей функции фитнеса и технических ограничений, что позволяет расширить область его применения с различными инструментальными средствами.

Первый тип моделей – это модели, реализуемые с помощью системы Simulink. Для снижения трудоемкости разработки моделей в этой системе сформирована специальная библиотека (texlib) с набором методов, моделирующих различные элементы технологической системы. Структура библиотеки изображена на рис. 3.

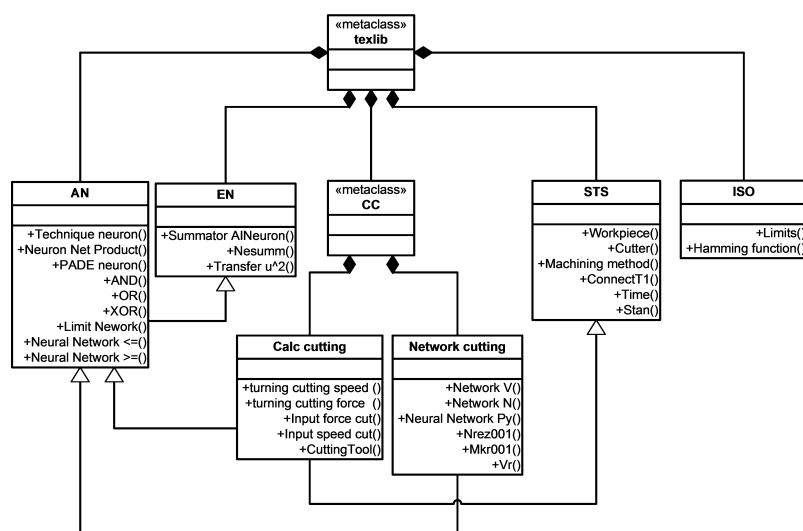


Рис. 3. Структура библиотеки Simulink для параметрической оптимизации

Здесь выделено пять основных разделов, содержащих наборы методов:

AN (Artificial Neurons) – набор методов, реализующих работу ИНС различного типа;

EN (Elements Neurons) – структурные элементы нейронов, составляющих сети;

CC (Cutting conditions) – раздел библиотеки, содержащий две группы методов: методы, основанные на ИНС; методы, основанные на обычных алгоритмических конструкциях и ИНС;

Calc cutting – набор методов для вычисления силы и скорости резания, а также моделирования режущего инструмента;

Network cutting – набор ИНС, обеспечивающих моделирование различных структурных элементов технологической системы;

STS (Structural elements of technological system) – набор методов ввода данных для структурных элементов технологической системы;

ISO – набор методов для определения изоморфизма систем размеров на машиностроительных деталях.

ИНС по расчету скорости резания, силы резания основаны на радиально-базисных сетях с нулевой ошибкой. Для примера рассмотрим структуру сети по расчету скорости резания (рис. 4).

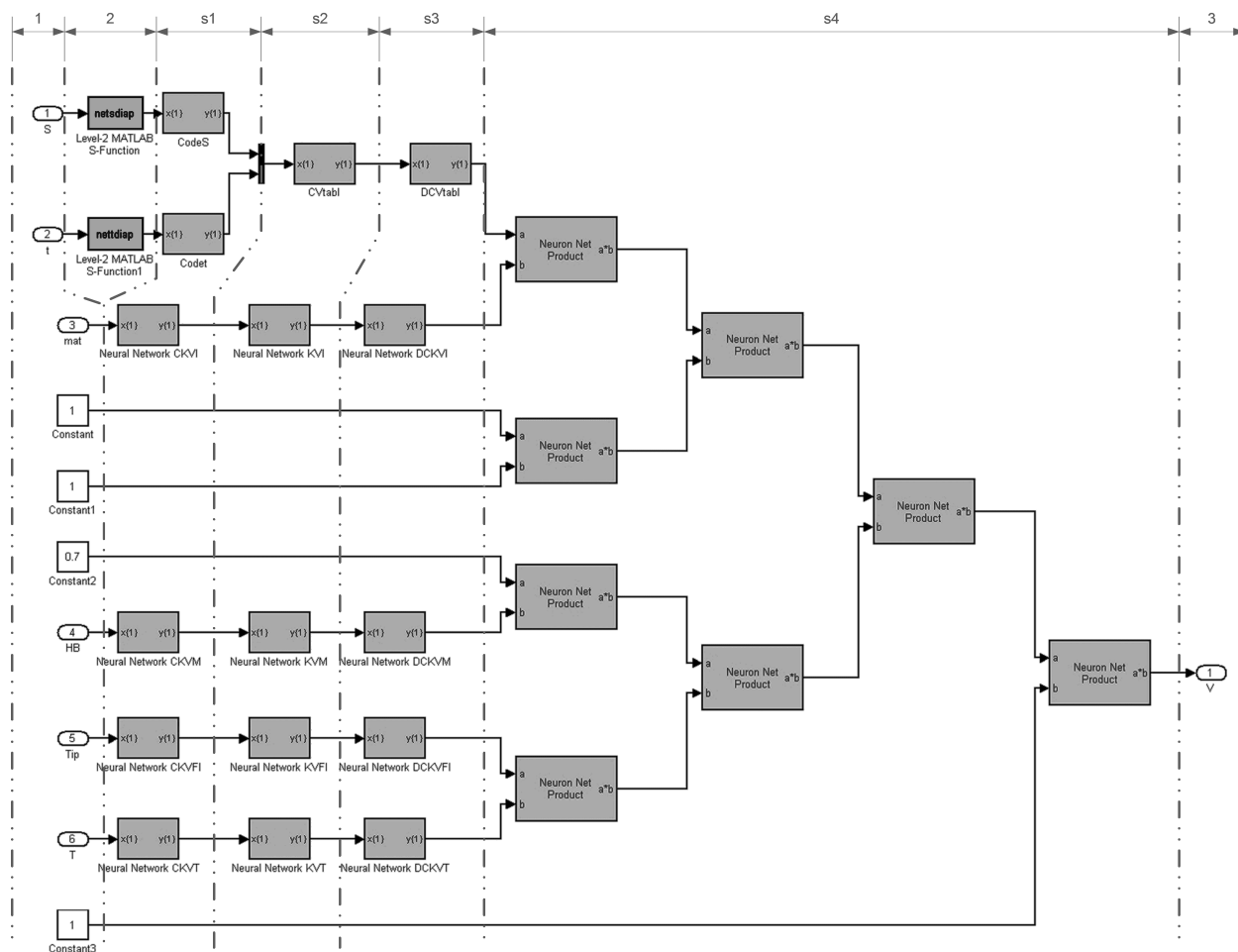


Рис. 4. ИНС расчета скорости резания

Сеть состоит из четырех слоев. В первом слое выполняется шкалирование данных в диапазоне от 0 до 1 с помощью сетей прямого распространения. Во втором слое располагаются RBF сети для расчета составляющих скорости резания, которые выдают результаты в закодированном виде. Третий слой предназначен для декодирования данных и содержит нейронные сети прямого распространения с линейной функцией активации. В четвертом слое располагаются сети, реализующие операцию умножения. Таким образом, на выходе сети 3 получаем значение скорости резания, подавая на вход сети 1 набор данных, которые преобразуются специальными процедурами 2. Преобразование данных необходимо только для RBF сети, рассчитывающей табличную скорость резания, поскольку следует определить диапазоны изменения и их коды подать на вход сети. Архи-

текстура остальных сетей строится по указанному принципу.

Второй тип моделей – модели, реализуемые с помощью системы Matlab в виде отдельных функций. ВЯПОТС при использовании моделей первого и второго типа позволяет выполнять параллельные вычисления на кластерах, что повышает скорость реализации генетического алгоритма. Параллельные вычисления организованы для формирования исходной популяции и расчета функции фитнесса, а также для отдельных процедур преобразования данных из генотипа в фенотип и обратно.

Третий тип моделей – модели, разработанные с помощью любой инструментальной среды и откомпилированные в виде динамических библиотек DLL или EXE–запускаемых модулей, регистрируемые как ActiveX серверы в операционной системе.

Четвертый и пятый тип моделей – это модели, сформированные на базе электронных таблиц Excel. Данные модели могут быть реализованы в одной книге (пятый тип) или в разных книгах (четвертый тип). Для параметрической оптимизации технологической системы в данной работе предлагается специальная структура книги, где каждая рабочая позиция отражается отдельным листом книги.

Выводы

Практическое применение данного программного обеспечения для параметрической оптимизации конкретных технологических систем механической обработки показывает, что модифицированный генетический алгоритм достаточно эффективно работает на задачах большой размерности, что характеризуется небольшим разбросом значений функции фитнесса.

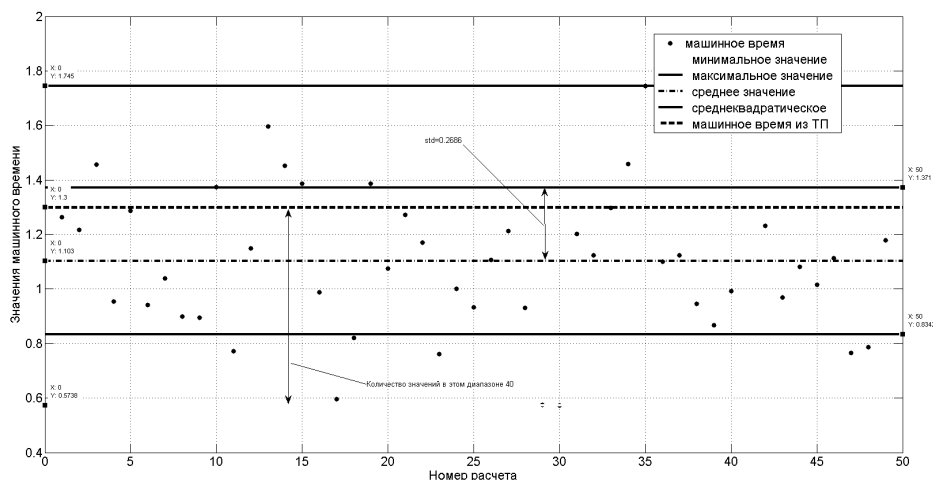


Рис.5. Статистика работы модуля параметрической оптимизации по 50 расчетам

Например, для оптимизации операции на многошпиндельном вертикальном токарном полуавтомате при обработке детали трактора Т–150 имеем следующие результаты (см. рис. 5). Область поиска при обработке на семи позициях полуавтомата, с учетом дискретности параметров подач и частот вращений составляет комбинаций 8.376×10^{20} (NP – сложная задача). Хромосома содержит 14 генов. Поиск оптимального сочетания частот и подач в этой ситуации занимает около одной минуты. Разброс значений при выборке 50 расчетов показан на рис. 5. На основе анализа работы алгоритма можно утверждать, что с вероятностью 0,8 он находит сочетания параметров оборудования, повышающие производительность технологической системы в среднем на 28%.

Список литературы

1. Фролов, В.В. Решение комбинаторно–оптимизационной задачи проектирования технологической операции [Текст] / В.В. Фролов // Материали за 6-а международна научна практична конференция «Найновите постижения на европейската наука – 2010». Технологии. Физическа култура и спорт. – София: «Бял ГРАД-БГ» ООД. – 2010. – Т. 20. – С. 17 – 19.
2. Фролов, В.В. Реализация генетического алгоритма для двухуровневой оптимизации параметров технологической системы [Текст] / В.В. Фролов // Восточно – Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – №46. – С.33–36.
3. Фролов, В.В. Разработка элементной базы дискретной оптимизации параметров технологической системы [Текст] / В.В. Фролов // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут": зб. наук. пр. Темат. вип.: Технології в машинобудуванні. – Х.: НТУ "ХПИ". – 2010. – №40.– С.29–33.
4. Лю, Б. Теория и практика неопределенного программирования [Текст]: [пер. с англ.] / Б. Лю – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. – 2005. – 416.

Рецензент: доктор технических наук, профессор А. Н. Шелковой, НТУ «ХПИ», г. Харьков.

Поступила в редакцию 02.09.11

Програмне забезпечення параметричної оптимізації технологічної системи механічної обробки

Розглянуто структуру й характеристики обчислювального ядра параметричної оптимізації технологічної системи. Ядро дозволяє повністю реалізувати метод комбінаторно-оптимізаційного проектування, що забезпечує вибір ефективної конфігурації технологічної системи механічної обробки за заданим критерієм при мінімальній додатковій адаптації методу до конкретного виробництва. Основу обчислювального ядра становить модифікований генетичний алгоритм рангової селекції. Генетичний алгоритм реалізовано у вигляді COM – об'єкта мовою MatLab 2010. Для формування математичних моделей параметричної оптимізації технологічних систем механічної обробки розроблено прикладну бібліотеку Simulink.

Ключові слова: генетичний алгоритм, бібліотека класів, штучні нейронні мережі, багаторівневе програмування, нейрон, динамічна бібліотека.

The software of parametric optimization technological system of metal cutting

The structure and characteristics of a computing technological system parameter optimization kernel is considered. The kernel allows to implement completely a method is combinatorial - optimization designing which provides a choice of an effective configuration of metal cutting technological system by the given criterion at minimum additional adaptation of a method to specific manufacture. The basis of a computing kernel is made by the modified genetic algorithm of rank selection. The genetic algorithm is implemented in the form of COM object in language MatLab 2010. Application-oriented library Simulink is developed for formation of mathematical models of parameter optimization of technological systems of machining.

Keywords: the genetic algorithm, class library, artificial neural networks, multi-level programming, neuron, dynamic library.