

**В.В. ФРОЛОВ** канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ», г. Харьков

**А.В. ЕВТУХОВ** канд. техн. наук, ст. преп., СумГУ, г. Сумы

## **ОСОБЕННОСТИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПРИ ФИКСИРОВАННОЙ СТРУКТУРЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

Рассмотрены особенности практической реализации параметрической оптимизации технологической системы. Выбран метод оптимизации, который позволит избежать указанных проблем.

Розглянуто особливості практичної реалізації параметричної оптимізації технологічної системи. Обрано метод оптимізації, що дозволить уникнути зазначених проблем.

Habits of practical implementation of a parameter optimization of technological system surveyed. The method of optimization, which will allow avoiding the specified problems, is selected.

Одной из основных проблем параметрической оптимизации технологической системы является дискретность свойств ее структурных элементов. Сложность взаимосвязей и большое количество переменных, отражающих состояние и функционирование технологической системы (ТС), не дают возможности оценить свойства поверхности целевой функции, что в свою очередь, приводит к не корректному использованию классических методов оптимизации. Совокупность технических ограничений, учитывающих физическую сущность ТС, может приводить к отсутствию значений целевой функции, что не дает возможности применять градиентные методы оптимизации. Частично проблему дискретности решают применением целочисленного программирования и дискретного программирования.

Приведем пример оптимизации технологической системы состоящей из двух токарных полуавтоматов для обработки детали 151.46.152 ОАО «ХТЗ» (см. рис. 2), где можно проследить проявление этих проблем. Обработка ведется на станках модели 1716Ц (см. рис. 1).

Совокупность переходов для каждой токарной операции и операционный эскиз приведены в таблице 1.

Принцип построения математических моделей следующий:

1. Целевая функция – время работы технологической системы;
2. Основное ограничение по загрузке линии, которую необходимо выравнивать относительно стандартного значения;
3. Ограничения по режущей способности рассчитываются на основе классических оптимизационных моделей одноинструментной обработки.
4. Математические модели реализованы в системе MATHCAD.

Практическая реализация математической модели представлена на рисунках 3 – 4. Здесь все действия разбиты на этапы:

1. Формирование исходных данных, где  $N$  – годовая программа выпуска

детали, шт.;  $FD$  – доля действительного фонда времени работы оборудования, ч;  $CP$  – количество станков, составляющих линию по операциям;  $\tau$  – частный такт выпуска детали, мин;  $pr$  – производительность линии, шт/мин.

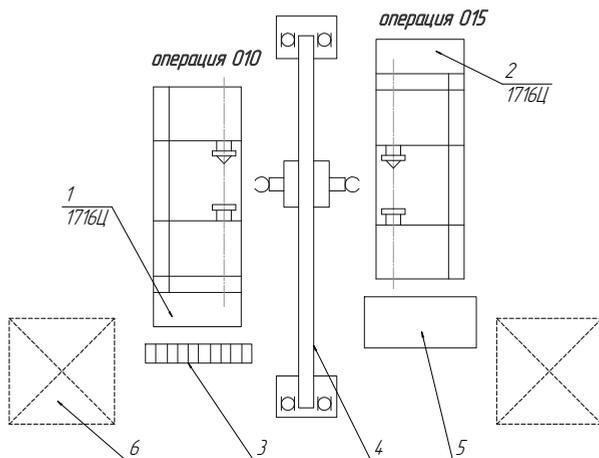


Рис. 1. Планировка токарной линии

1, 2 – токарные полуавтоматы; 3 – накопитель; 4 – транспортный робот; 5 – система управления; 6 – место для складирования деталей и заготовок.

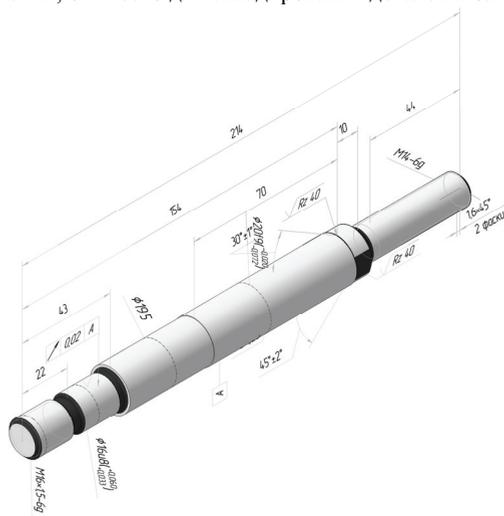
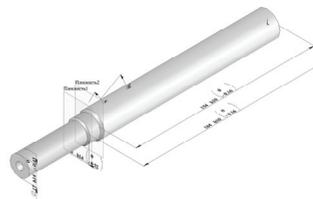
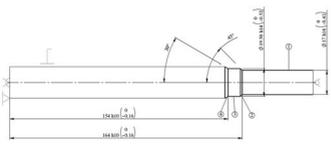
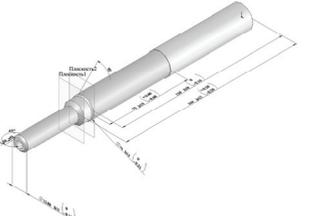
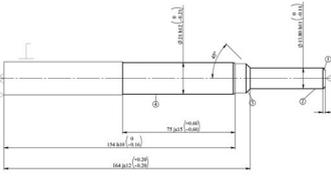
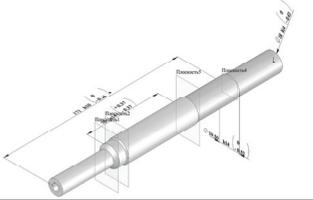
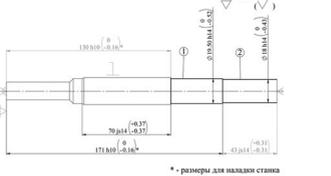
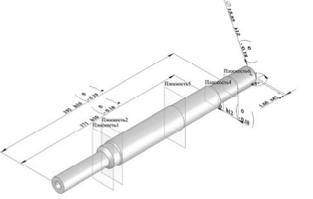
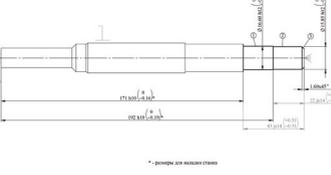
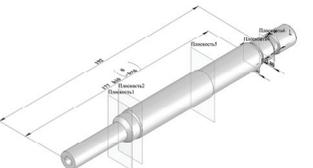
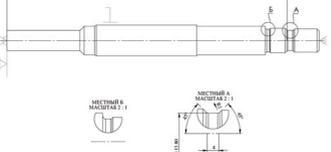


Рис. 2 Пространственная модель детали 151.46.152

2. На этом этапе формируются данные, которые будут использоваться в формулах ограничений по операциям. Для металлообрабатывающего оборудования это:  $nmins, nmaxs$  – коробка скоростей (дискрет-

ная); *sminspr, smaxspr* – коробка подач (бесступенчатая) для продольного суппорта и аналогично для поперечного. Для метода обработки (пара инструмент – заготовка) определяются максимальные частоты вращения и подачи, допускаемые возможностями взаимодействия данной пары.

Таблица 1

Операция	Переход	Модель	Эскиз
010	1		
	2		
015	1		
	2		
	3		

▼ Этап 1

$$N := 10000 \quad FD := 401.5 \quad CP := \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad \tau := \frac{FD \cdot 60}{N} = 2.409 \quad pr := \frac{1}{\tau} = 0.415$$

▲ Этап 1

▼ Этап 2

$$nmins := \begin{pmatrix} 100 \\ 100 \end{pmatrix} \quad nmaxs := \begin{pmatrix} 2000 \\ 1000 \end{pmatrix} \quad smins := \begin{pmatrix} 0.063 \\ 0.063 \end{pmatrix} \quad smaxs := \begin{pmatrix} 2 \\ 2 \end{pmatrix}$$

$$nmaxr := \begin{pmatrix} 1250 & 1250 & 0 \\ 1250 & 2000 & 1250 \end{pmatrix} \quad smaxr := \begin{pmatrix} 0.32 & 0.32 & 0 \\ 0.25 & 0.2 & 0.15 \end{pmatrix}$$

$$L_{\text{ss}} := \begin{pmatrix} 67 & 140.84 & 0 \\ 86 & 45 & 5 \end{pmatrix} \quad C_{\text{ss}} := \begin{pmatrix} 3.73 \\ 3.73 \end{pmatrix}$$

▲ Этап 2

▼ Этап 3

$$f(n, s) := \sum_{j=1}^2 \left[ C_j \cdot \left( \sum_{i=1}^3 \frac{L_{j,i}}{n_{j,i} \cdot s_{j,i}} \right) \right] \quad n := nmaxr \quad s := smaxr$$

▲ Этап 3

▼ Этап 4

Given

$$\begin{cases} n > 0 \\ s > 0 \end{cases} \quad \begin{cases} n^{(1)} \leq nmaxs & n^{(2)} \leq nmaxs & (n^{(3)})_2 \leq nmaxs_2 & (n^{(3)})_1 = 0 \\ n^{(1)} \geq nmins & n^{(2)} \geq nmins & (n^{(3)})_2 \geq nmins_2 & \end{cases}$$

$$\begin{cases} s \leq smaxr \\ n \leq nmaxr \end{cases} \quad \begin{cases} s^{(1)} \leq smaxs & s^{(2)} \leq smaxs & (s^{(3)})_2 \leq smaxs & (s^{(3)})_1 = 0 \\ s^{(1)} \geq smins & s^{(2)} \geq smins & (s^{(3)})_2 \geq smins & \end{cases}$$

▲ Этап 4

Рис. 3 Этапы 1 – 4 параметрической оптимизации технологической системы

$$0.75 \leq \frac{N}{FD \cdot 60 \cdot 2} \cdot \sum_{u=1}^2 \frac{\left( \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^3 \frac{L_{j,i}}{n_{j,i} \cdot s_{j,i}} \right)}{CP_u} \leq 0.8$$

▼ Этап 5

$$\begin{pmatrix} n1 \\ s1 \end{pmatrix} := \text{Minimize}(f, n, s)$$

$$n1 = \begin{pmatrix} 634.176 & 1.16 \times 10^3 & 0 \\ 997.041 & 758.116 & 695.436 \end{pmatrix} \quad s1 = \begin{pmatrix} 0.171 & 0.297 & 0 \\ 0.217 & 0.2 & 0.083 \end{pmatrix}$$

▲ Этап 5

▼ Этап 6

Сравнение себестоимости обработки с расчетом:

$$seb0 := f(n1, s1) = 6.739$$

$$seb1 := f(nmaxr, smaxr) = 3.484$$

6. Параметрические характеристики линии

6.1 Средний коэффициент загрузки оборудования

По оптимальным параметрам обработки с учетом работы участка:

$$Kz := \frac{N}{FD \cdot 60 \cdot 2} \cdot \sum_{u=1}^2 \left[ \frac{\left( \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^3 \frac{L_{j,i}}{n1_{j,i} \cdot s1_{j,i}} \right)}{CP_u} \right] = 0.75$$

▲ Этап 6

Рис. 4 Этапы 5 – 6 параметрической оптимизации технологической системы

▼ Этап 6 (продолжение)

Без учета работы всех станков участка:

$$\frac{N}{FD \cdot 60 \cdot 2} \cdot \left[ \sum_{u=1}^2 \frac{\left( \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^3 \frac{L_{j,i}}{n_{\max,j,i} \cdot s_{\max,j,i}} \right)}{CP_u} \right] = 0.388$$

6.2 Основное время по операциям линии

После оптимизации:

Производительность:

$$to := \frac{\vec{L}}{n1 \cdot s1} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1.027 \\ 0.78 \end{pmatrix} \quad \vec{\frac{1}{to}} = \begin{pmatrix} 0.974 \\ 1.283 \end{pmatrix}$$

По расчету:

$$to1 := \frac{\vec{L}}{n_{\max} \cdot s_{\max}} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.52 \\ 0.414 \end{pmatrix} \quad \vec{\frac{1}{to1}} = \begin{pmatrix} 1.925 \\ 2.413 \end{pmatrix}$$

6.3 Минутная подача по переходам

$$\vec{(n1 \cdot s1)} = \begin{pmatrix} 108.365 & 344.495 & 0 \\ 216.801 & 151.615 & 58.036 \end{pmatrix}$$

▲ Этап 6 (продолжение)

Рис. 5 Данные для анализа

3. Описываем целевую функцию и начальные значения изменяемых параметров.

4. Задаем систему ограничений в виде неравенств, которые учитывают конкретные характеристики линии.

5. Выполняем оптимизацию, а затем на 6 этапе получаем данные для анализа характеристик линии.

Этот подход позволяет выровнять станки по загрузке оборудования, что должно соответствовать оптимальному сочетанию производительности и себестоимости. При этом основную роль в оптимизационной модели играет ограничение по изменению среднего коэффициента загрузки линии. Оптимизация выполняется методом квазиНьютона. Если изменить параметры опти-

мизации на метод Сопряженных градиентов, то получим совсем другие режимы. Это достаточно характерная проблема для существующих методов оптимизации, поскольку, чем больше независимых переменных, тем сложнее получить решение близкое к глобальному минимуму.

При этом здесь не учитывается, что частота вращения шпинделя изменяется согласно геометрическому ряду – дискретно, поэтому ее необходимо округлять до стандартных решений.

Результаты расчетов показывают, что при такой постановке задачи оптимизации можно регулировать степень загрузки оборудования всей линии. Действительно загрузка выравнивается, но где гарантия, что данное квазиоптимальное решение будет единственным при этих ограничениях, т.е. насколько правильно была проведена процедура оптимизации, поскольку переменных в целевой функции 12 и вид поверхности функции неизвестен.

Вторая проблема получение режимных параметров не соответствующих паспортным данным станка, так как их необходимо округлить до ближайших паспортных значений. Рассмотрим простой пример дискретизации функции минутной подачи на рисунке 6.

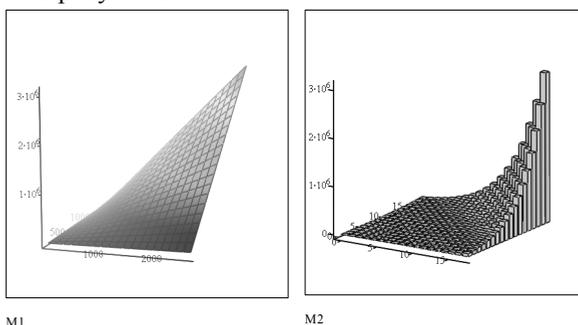


Рис 6 – Дискретизация минутной подачи

Слева (M1) вид функции минутной подачи при бесступенчатом изменении частоты вращения и подачи, а справа (M2) – согласно паспортным данным станка модели 1E713. В последнем случае рассматриваются все парные сочетания значений частоты вращения и подачи. Здесь легко представить, что при оптимизации по функции M1, особенно на середине поверхности поиска, полученные данные режимных параметров сильно отличаются от реального сочетания частоты и подачи допустимых по паспорту станка (M2).

Таким образом, можно говорить об определении тенденции изменения параметров технологической системы для выравнивания коэффициента загрузки оборудования, а не о конкретных их значениях. Одно из направлений решения указанных противоречий это использование генетических алгоритмов для оптимизации параметров технологической системы, поскольку они по своей сути дискретны.

*Поступила в редколлегию 20.09.2010*