



Рис. 2. Результат выполненной команды в КОМПАС-3D

Предложенная методика компиляции и подключения пользовательских библиотек к КОМПАС-3D из приложения Windows Forms на C# дает возможность создавать не только простые библиотеки, но и довольно сложные пользовательские библиотеки, которые не раз пригодятся в дальнейшем.

## МНОГОФАКТОРНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ ТОРЦОВОЙ ФРЕЗОЙ

Д. М. Маханов

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель В. С. Мурашко

*По результатам опытов, выполненных по программе центрального композиционного ротатбельного планирования второго порядка построена многофакторная математическая модель, характеризующая зависимость максимальной тангенциальной составляющей силы резания  $P_T$  от элементов геометрии зуба торцовой фрезы при фрезеровании высокопрочного чугуна средствами открытой системы Scilab.*

**Ключевые слова:** торцовая фреза, фактор, центральное композиционное ротатбельное планирование второго порядка, матрица планирования эксперимента, уравнение регрессии, открытая система Scilab.

Принятие проектных решений в машиностроении и оценка их качества в основном осуществляется на основании данных эксперимента. Задача извлечения наибольшего объема информации об изучаемых процессах и устройствах при ограничениях по затратам является в настоящее время достаточно актуальной.

Чтобы обработать заготовку, следует удалить определенный слой металла, преодолевая сопротивление срезаемого слоя – силу резания. Величина силы резания зависит от условий обработки. При черновом фрезеровании, когда с заготовки снимают слой металла в несколько миллиметров, сила резания достигает сотен и тысяч килограммов, а при чистовом фрезеровании она уменьшается до десятков килограммов. Поэтому при выборе геометрии и конструкции фрез, проектировании приспособлений и станков обязательно учитывают характер обработки и величины сил резания.

Цель данной работы – построение многофакторной математической модели, характеризующей зависимость максимальной тангенциальной составляющей силы резания  $P_T$  от элементов геометрии зуба торцевой фрезы при фрезеровании высокопрочного чугуна.

**Постановка задачи.** Эксперимент провести по программе центрального композиционного ротатабельного планирования второго порядка [1], элементы геометрии зуба фрезы: главный угол  $\varphi$  в плане, угол наклона  $\lambda$  режущей кромки и передний угол  $\gamma$  выбрать в качестве влияющих факторов, а зависимость  $P_T = f(\varphi, \lambda, \gamma)$  аппроксимировать полиномом второй степени.

Центральный композиционный ротатабельный план второго порядка для трех факторов состоит из плана полного факторного эксперимента типа  $2^3$ , шести опытов в «звездных точках» и шести опытов в центре плана. Принятые в исследовании уровни и интервалы варьирования факторов указаны в таблице, а матрица планирования эксперимента и результатов опытов представлена на рис. 1.

### Уровни и интервалы варьирования факторов

Факторы	Количественное значение	Интервалы варьирования	Натуральные уровни факторов, соответствующие кодированным				
			1,682	1	0	-1	-1,682
$\varphi$	x1	15	85	75	60	45	35
$\lambda$	x2	6	15	11	5	-1	-5
$\gamma$	x3	6	20	16	10	4	0

По результатам опытов, выполненных в соответствии с принятым планом эксперимента, определение коэффициентов регрессии вида:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + b_{11} \cdot x_1^2 + b_{22} \cdot x_2^2 + b_{33} \cdot x_3^2$$

проводится по алгоритму, описанному в [1].

n	y <sub>i</sub>	x1	x2	x3
1	1210	1	1	1
2	1350	1	1	-1
3	1140	1	-1	1
4	1285	1	-1	-1
5	1225	-1	1	1
6	1370	-1	1	-1
7	1150	-1	-1	1
8	1290	-1	-1	-1
9	1310	1,628	0	0
10	1370	-1,628	0	0
11	1240	0	1,628	0
12	1120	0	-1,628	0
13	1060	0	0	1,628
14	1300	0	0	-1,628
15	1118	0	0	0
16	1140	0	0	0
17	1160	0	0	0
18	1210	0	0	0
19	1190	0	0	0
20	1200	0	0	0

Рис. 1. Матрица планирования и результаты опытов

В результате использования ротатбельного планирования второго порядка получено следующее уравнение регрессии:

$$y = 1179,43 + 36,011 \cdot x_2 - 71,29 \cdot x_3 + 62,19 \cdot x_1^2.$$

Проверка гипотезы об адекватности модели показала, что модель адекватна при 5%-м уровне значимости. Вычисленные по уравнению значения  $y$  отличаются от экспериментальных на величины, не превышающие ошибку опыта.

Переходя от кодированных  $x_1, x_2, x_3$  значений факторов к натуральным  $\varphi, \lambda, \gamma$  получена зависимость максимальной тангенциальной составляющей силы резания от элементов геометрии зуба торцевой фрезы:

$$P_T = 2263,29 - 33,17\varphi + 6\lambda - 11,88\gamma + 0,2764\varphi^2.$$

Уравнение адекватно, поэтому его можно использовать как интерполяционную формулу для вычисления величины  $P_T$ , а также для установления рациональных значений элементов геометрии зуба при торцовом фрезеровании высокопрочного чугуна.

Решение вручную поставленной интерполяционной задачи требует очень много временных затрат и не исключает случайных ошибок, которые может допустить разработчик.

Для автоматизированного решения задачи предлагается выбрать открытую систему Scilab, которая является мощным математическим пакетом для решения математических, инженерных задач. Основным преимуществом этой системы является то, что пользователю не обязательно быть программистом, чтобы решать вычислительные задачи в различных областях науки и техники. Система Scilab работает в режиме интерпретатора, а также позволяет обрабатывать программы, написанные на встроенном языке. Scilab очень удобна для автоматизации инженерных расчетов, позволяя создавать не только обычные, но и визуальные приложения.

#### Литература

1. Спиридонов, А. А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А. В. Спиридонов. – М. : Машиностроение, 1981. – 184 с.

### ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИХРЕВЫХ РАСХОДОМЕРОВ

А. А. Ходыкина

*Сибирский государственный университет науки и технологий  
имени академика М. Ф. Решетнева, г. Красноярск, Российская Федерация*

Научный руководитель А. С. Фролов

*Рассмотрен вопрос имитационного моделирования тел обтекания вихревых расходомеров в условиях эксплуатации. Приведены результаты исследования измерительных характеристик рассматриваемых тел.*

**Ключевые слова:** вихревые расходомеры, тело обтекания, моделирование, число Струхала.

Вихревые расходомеры являются перспективным средством измерения расхода оборотной, свежей и горячей воды на предприятии. Они могут применяться и для учета объемов воды, протекающих как по трубопроводам, так и в открытых каналах.