

УДК 519.2, 681.142.2

С. Г. Буряковский, канд. техн. наук,  
В. В. Смирнов

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ПО ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА РАБОТЫ СТРЕЛОЧНОГО ПЕРЕВОДА

**Аннотация.** Показаны возможности метода наименьших квадратов для расчета аналитической зависимости по экспериментальным данным, полученным с помощью модели стрелочного перевода. Описан процесс расчета и построения линейной и других моделей двухфакторного эксперимента.

С. Г. Буряковский, канд. техн. наук,  
В. В. Смирнов

**Анотація.** Наводяться можливості методу найменших квадратів для розрахунку аналітичної залежності за експериментальними даними, що отримані з моделі вилючного переводу. Зроблено опис процесу розрахунку та побудови лінійної та інших моделей двофакторного експерименту.

S. G. Byrakovskiy, PhD,  
V. V. Smirnov

## APPLYING THE METHOD OF LEAST SQUARES IN STUDIES TO OPTIMIZE THE PROCESS OF TURNOUT

**Abstract.** The paper shows capabilities of least square method to calculation analytically depends by experimental data, which taken from railway switch model. The process of calculation and building linear and others models of two-factored experiment are described.

При разработке системы частотного управления стрелочным переводом марки СП-6М возникла необходимость анализа статистических данных исследований, полученных на математических моделях. Синтез и описание моделирования электромеханической системы стрелочного перевода освещен в ранее опубликованных работах авторов

В результате проведения ряда двухфакторных экспериментов на математической модели получены массивы статистических данных. В качестве факторов (аргументов) опыта выступали физические величины времени разгона, момента начала торможения и напряжения задания преобразователя частоты –  $t$ ,  $l$ ,  $uz$ . Зависящий от них результат – критерий оптимизации – имеет физический смысл упругой силы в тягах  $F12$  (здесь и далее в качестве примера будет использоваться эта величина; другие критерии – время перевода, момент импульса остряков и электрические потери в двигателе):

$$F12 = f12(uz, t, B_1, B_2, \dots, B_m). \quad (1)$$

Задача исследования сводится к определению статистических характеристик величин  $B_1, B_2, \dots, B_m$ , обеспечивающих появление значений  $f12_i$  при заданных  $uz_i$  и  $t_i$ . Для достижения этой цели был использован метод наименьших квадратов (МНК).

В качестве функции (1) принят степенной многочлен вида

$$y = b_0 + b_1x + b_2y + b_3x^2 + b_4x^2 + \dots + b_mx^n + b_{m+1}y^n,$$

где  $1 \leq n \leq 7$ . Ход исследования предполагает получение выражений 1...7 степени, описывающих поведение объекта для проведения сравнительного анализа качества аппроксимации в различных случаях.

Таким образом, теоретическая зависимость (1) примет вид

$$F12 = \sum_{j=1}^n b_j \psi_j(uz, t), \quad 1 \leq n \leq 7, \quad (2)$$

где функции  $\psi_j(uz, t)$  – базисные функции  $1, x, y, x^2, y^2, \dots, x^m, y^m$ .

В случае применения ортонормированного базиса (ОНБ) выбранных линейно-независимых базисных функций коэффициенты аппроксимации зависимости (2) находятся по следующей формуле:

$$\begin{cases} b_k = (f12, \varphi_k) \\ k = \overline{1, j} \end{cases}. \quad (3)$$

В силу ортонормированности базисных функций, если добавить еще одну базисную функцию  $\varphi_{j+1}$ , ортонормированную ко всем остальным, то предыдущие коэффициенты пересчитывать не нужно, достаточно по (3) вычислить новый коэффициент  $b_{j+1}$ .

Следовательно, первая итерация исследования предполагает линейную модель (полином 1 степени) двухфакторного эксперимента

$$f12 = b_0 \varphi_0(uz, t) + b_{uz} \varphi_{uz}(uz, t) + b_t \varphi_t(uz, t). \quad (4)$$

Согласно [1] при выборе факторов опыта в узлах прямоугольной таблицы (т.е. проведении полифакторного эксперимента (ПФЭ)) коэффициенты аппроксимации

$$b_0 = (f12, \varphi_0) = \frac{1}{\sqrt{lm}} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m f12_{ij}, \quad (5)$$

$$b_{uz} = (f12, \varphi_{uz}) = \frac{\sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m f12_{ij}(uz_i - m_{uz}^*)}{\sqrt{m \sum_{i=1}^l (uz_i - m_{uz}^*)^2}}, \quad (6)$$

$$b_t = (f12, \varphi_t) = \frac{\sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m f12_{ij}(t_i - m_t^*)}{\sqrt{l \sum_{i=1}^l (t_i - m_t^*)^2}}. \quad (7)$$

Дальнейшие итерации в исследовании предполагают повышение степени аппроксимирующего полинома и соответственно применение дополнительных базисных функций.

F12=f(Uz,t); Uz, t=var, l=const

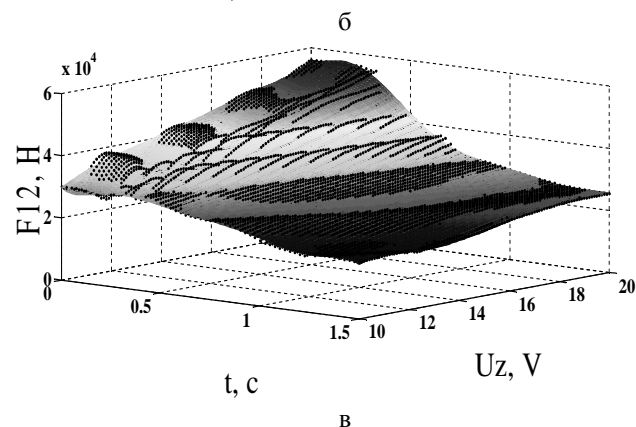
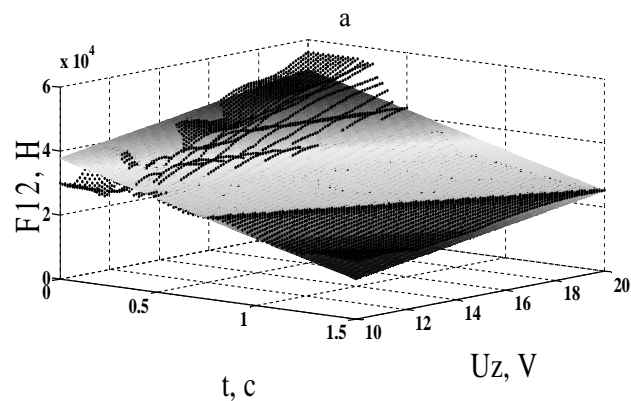
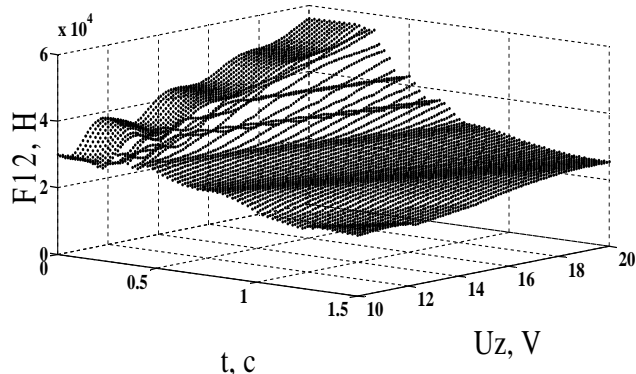


Рис.1. Исходные данные исследования (а); результаты аппроксимации полиномами

1(б) и 7 (в) степени

Выполнение поставленной задачи по получению аналитического выражения для исследуемых критериев оптимизации является важным этапом разработки системы управления частотным преобразователем в перспективных системах регулируемого стрелочного привода, так как позволяет применить широкие возможности математического анализа для получения желаемых режимов работы стрелки по выбранным критериям.

Числовое и графическое построение линейной модели для двухфакторного эксперимента выполнено при помощи ПО Matlab.

На рисунке показана графическая интерпретация экспериментальных данных в виде совокупности точек в трехмерном пространстве, и результаты аппроксимации полиномом 1 и 7 степени.

### Выводы

Реализован метод наименьших квадратов для получения аналитических зависимостей по экспериментальным данным моделей стрелочного перевода.

Получены формулы аппроксимации полиномом 1...7 степени.

Результаты подтвердили правомерность принятия теоретической зависимости в виде степенного многочлена. Его старшие степени (5,6,7) позволяют достичь необходимой точности при аппроксимации исходных данных, что видно из рис.1,б.

### Список использованной литературы

Иглин С.П. Теория вероятности и математическая статистика на базе MATLAB / С.П.Иглин –Х.: НТУ «ХПИ», 2006. 612 с.

Получено 19.07.2011



Буряковский  
 Сергей Геннадиевич, канд.  
 техн. наук, доц.каф. «СЭТ»  
 Украинск. гос. акад.  
 жел. дор. тр-та,  
 г. Харьков, пл. Фейербаха, 7,  
 тел. 0503012069



Смирнов  
 Василий Васильевич,  
 ст. инж. ЗАО «Элак»,  
 г. Харьков,  
 ул. Акад. Проскуры, 1,  
 корп. 1/2,  
 тел. 0638642443