

Если измерения выполняются со случайной погрешностью, характеризующейся СКО, равной σ , то максимальная погрешность вычисления по (2) может достигать значения $\approx \sigma \cdot 2T / \Delta t$.

Учитывая случайный характер проявления погрешности и если принять равными значения σ_i и σ_{i+1} , то суммарная погрешность вычислений по (2) определится по формуле:

$$\sigma_{\Sigma} = \sigma \sqrt{\left(1 + \frac{1}{e^{\frac{\Delta t}{T}} - 1}\right)^2 + \left(\frac{1}{e^{\frac{\Delta t}{T}} - 1}\right)^2} \quad (4)$$

Оценка по (4) показывает, что существенно увеличивается при уменьшении интервала измерений. Так, при $\Delta t/T = 0,2$ погрешность расчета по (2) превышает погрешность измерений более, чем в 7 раз, а при уменьшении $\Delta t/T$ до 0,1 погрешность увеличивается более, чем в 15 раз.

УДК 519.254

А. П. Котенко, доц., канд. физ.-мат. наук;
А. А. Котенко, магистрант (СамГТУ, г. Самара)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ПРИ ПРОТИВОРЕЧИВЫХ КРИТЕРИЯХ

На основе систем линейных регрессий строится математическая модель производства химической продукции при нестабильном составе сырья и некоторых технологических параметров. Такие условия складываются при переработке нефти, поставленной из разных источников. При этом, с одной стороны, нет постоянного состава сырья, но, с другой стороны, можно получить из сырья смесь, способствующую повышению качества продукции нефтепереработки. Кроме того, естественная недетерминированная постановка задачи оптимизации производственного процесса не требует достижения номинальных значений качества, а лишь попадания показателей качества продукции в соответствующий доверительный интервал.

Имелся массив практических данных, на основе которого проведён регрессионный анализ. В качестве регрессоров (экзогенных переменных) были взяты семь параметров качества продукции x_1, \dots, x_7 , представляющих физические наблюдаемые параметры (вязкость, плотность, темпера-

тура размягчения и т.п.). [1,2]

В качестве целевых значений (эндогенных переменных) приняты содержания двух химических добавок y_1 и y_2 , обеспечивающих характеристики сырьевой смеси, необходимые для получения продукции заданного качества.

Так как переменные в натуральных показателях различались по масштабу, то перешли к стандартизированным показателям:

$$t_{z_i} = s_z^{-1} (z_i - \bar{z}),$$

где t_{z_i} – i -е наблюдение переменной z в стандартизированном масштабе; z_i – i -е наблюдение переменной z в исходном масштабе; \bar{z} – среднее выборочное значение; s_z – соответствующее исправленное выборочное среднее квадратическое отклонение.

В результате переход к стандартизированному масштабу дал:

$$\begin{aligned} t_{x_{1i}} &= \frac{x_{1i} - 248,409}{61,0111}; & t_{x_{2i}} &= \frac{x_{2i} - 5596,455}{1079,725}; & t_{x_{3i}} &= \frac{x_{3i} - 73,436}{8,452}; \\ t_{x_{4i}} &= \frac{x_{4i} - 0,067282}{0,007907}; & t_{x_{5i}} &= \frac{x_{5i} - 0,999955}{0,00239}; & t_{x_{6i}} &= \frac{x_{6i} - 0,915955}{0,00239}; \\ t_{x_{7i}} &= \frac{x_{7i} - 36,2}{1,772}; & t_{y_{1i}} &= \frac{y_{1i} - 5,464}{3,4496}; & t_{y_{2i}} &= \frac{y_{2i} - 20,777}{2,571}. \end{aligned}$$

Анализ матрицы коэффициентов парных линейных корреляций показал сильную парную корреляцию всех регрессоров x_i вплоть до строгой корреляции ($r=1$) регрессоров x_5 и x_6 . Следовательно, нахождение множественных линейных регрессий

$$y_1 = y_1(x_1, x_2, \dots, x_7) \text{ и } y_2 = y_2(x_1, x_2, \dots, x_7)$$

оказалось невозможным, так как включение в модель сильно коррелированных регрессоров привело бы к потере значимости коэффициентов регрессий. С другой стороны, оказалось, что каждый из регрессоров x_k сильно коррелирован с целевыми показателями y_1 и y_2 (коэффициенты корреляции $r > 0,95$), то есть может породить адекватные парные линейные регрессии

$$y_1 = y_1^k(x_k) \text{ и } y_2 = y_2^k(x_k).$$

В результате анализа коэффициента детерминации подобрана математическая модель системы нелинейных парных регрессий количества

добавок y_1, y_2 на противоречивые показатели качества продукции. Она состоит из 14 кубических зависимостей, соединяющих расчётное содержание добавки со стандартизованными значениями регрессоров:

$$y_1 = s_{y_1} t_{y_1} + \bar{y}_1 = 3,45t_{x_1} + 5,46 = \\ = 3,45(-0,117t_{x_1}^3 - 0,089t_{x_1}^2 + 1,202t_{x_1} + 0,093) + 5,46;$$

аналогично,

$$y_2 = 2,57(-0,007t_{x_1}^3 - 0,001t_{x_1}^2 + 1,013t_{x_1} + 0,001) + 20,78; \\ y_1 = 3,45(-0,118t_{x_2}^3 + 0,005t_{x_2}^2 + 1,216t_{x_2} - 0,036) + 5,46; \\ y_2 = 2,57(-0,020t_{x_2}^3 + 0,124t_{x_2}^2 + 1,064t_{x_2} - 0,123) + 20,78; \\ y_1 = 3,45(-0,064t_{x_3}^3 + 0,052t_{x_3}^2 + 1,127t_{x_3} - 0,069) + 5,46; \\ y_2 = 2,57(0,050t_{x_3}^3 + 0,192t_{x_3}^2 + 0,957t_{x_3} - 0,168) + 20,78; \\ y_1 = 3,45(-0,072t_{x_4}^3 + 0,038t_{x_4}^2 + 1,135t_{x_4} - 0,057) + 5,46; \\ y_2 = 2,57(0,043t_{x_4}^3 + 0,177t_{x_4}^2 + 0,962t_{x_4} - 0,157) + 20,78; \\ y_1 = 3,45(-0,028t_{x_5}^3 - 0,296t_{x_5}^2 + 1,166t_{x_5} + 0,296) + 5,46; \\ y_2 = 2,57(0,054t_{x_5}^3 - 0,237t_{x_5}^2 + 0,999t_{x_5} + 0,199) + 20,78; \\ y_1 = 3,45(-0,112t_{x_7}^3 - 0,039t_{x_7}^2 + 1,184t_{x_7} + 0,027) + 5,46; \\ y_2 = 2,57(-0,017t_{x_7}^3 + 0,063t_{x_7}^2 + 1,031t_{x_7} - 0,062) + 20,78.$$

Коэффициенты для уравнений при x_5 и x_6 одинаковы вследствие строгой корреляции этих регрессоров.

Расчёт требуемого количества добавок проводится по одному, либо по нескольким показателям качества продукта. Во втором случае выбирается значение с наименьшей относительной ошибкой аппроксимации. Таким образом, использование целевых переменных задачи управления в качестве экзогенных переменных системы парных нелинейных регрессий позволило построить адекватную модель производства с противоречащими друг другу критериями оптимальности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Котенко, А.А. Использование систем линейных регрессионных уравнений для оптимизации производства со стохастическими параметрами \ Сб. тезисов докладов XLII Международной молодёжной научной конф. «Гагаринские чтения – 2016». – М.: Изд-во МАИ, 2016. – С.219-220.

2. Котенко, А.А. Моделирование производства со стохастическими параметрами системой линейных регрессионных уравнений \ Актуальные вопросы развития России в исследованиях студентов: управленческий, правовой и социально-экономический аспекты: Материалы XIV Всероссийской студенческой научно-практической конф., ч.2. – Челябинск: Изд-во Челябинского филиала РАНХиГС, 2016. – С.407-409.

УДК 678.7

М.Н. Тухташева, д-р техн. наук, PhD; Г. Гулямов, доц., канд. техн. наук;
Н.С. Абед, проф., д-р техн. наук;
С.С. Негматов, академик АН РУз, проф., д-р техн. наук
(Государственное унитарное предприятие "Фан ва тараккиёт" Ташкентского государственного технического университета им. Ислама Каримова, Ташкент)

АНТИФРИКЦИОННЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИОЛЕФИНОВ И ТЕХНОЛОГИЯ ИХ ПОЛУЧЕНИЯ

Современный уровень развития композиционных полимерных материалов (КПМ) позволяет создавать уникальные материалы, работоспособные в экстремальных условиях при низких и повышенных температурах, давлениях, агрессивных и абразивных средах. Тенденцией развития данного направления является создание высоконаполненных, армированных и особо прочных КПМ с регулируемыми эксплуатационными показателями многофункционального назначения, используемые в машиностроительной промышленности [1].

В качестве матричного полимера принят полиэтилен высокой плотности (ПЭВП) и полипропилен (ПП). Выбор ПЭВП и ПП обусловлен их низкой стоимостью и предназначением для производства литьем под давлением изделий и деталей. Волокнистые наполнители - стекловолокно и хлопковый линт, а также углеграфитовые наполнители - сажа и графит вводили в рецептуру композита от 5 до 50 мас.ч на 100 мас.ч ПЭВП и ПП.