

Р.И. МАКАРОВ

**Особенности применения
статистических методов в
управлении качеством**

УДК 519.25:666.1

ФГБОУ ВПО
«Владимирский
государственный
университет имени
А.Г. и Н.Г. Столетовых»,
г.Владимир

В статье анализируются широко используемые методы и подходы, применяемые при обработке данных, собранных с реально функционирующего объекта для выяснения причинно-следственных связей на примере процесса отжига листового стекла.

Неоднородность анализируемой выборки требует разработки адаптивных моделей для повышения точности описания анализируемых зависимостей.

Качество продукции, производимой в сложных технологических процессах, зависит от множества технологических факторов и характеристик сырья. Содержание многостадийных технологий, применяемых в химической, стекольной и других отраслях промышленности, представляет последовательность физических и химических процессов преобразования структуры, свойств и формы продукции. Особенность сложных технологий в том, что отсутствует возможность получения аналитического отображения технологических факторов в показатели качества.

Выявление причин образования дефектов и недостижения заданных значений показателей качества является актуальной проблемой для промышленности, использующих сложные технологические процессы. Качество производимой в них продукции характеризуется множеством показателей, значения которых зависят от множества технологических факторов и свойств сырья.

Для установления взаимосвязи технологии с качеством приходится опираться на массивы ретроспективных данных, полученных

в пассивном эксперименте - на данных мониторинга технологического процесса.

Измеренные значения факторов и показателей являются источником информации, из которого могут быть извлечены сведения о состоянии процессов и качестве, их взаимосвязях, недостатках, нарушениях и др. Для извлечения из них необходимой информации о степени влияния факторов на показатели, выявления причинно-следственных связей между технологическими факторами и показателями качества используются статистические методы [1].

Некоторая изменчивость, присущая любой реальной системе, характеризуется как «шум». Он накладывается на результаты измерений и может привести к неправильным заключениям. Другими источниками ошибок могут быть коррелированность и неоднородность статистических данных, воздействия неизвестных факторов и др. Риск таких ошибок может быть уменьшен хорошо спланированными экспериментами с помощью, например, объема выборки или выбором специальных методов обработки данных. Но эти риски не могут быть полностью устранены, о них нужно помнить при составлении заключений.

Регрессионный анализ часто используют для выявления наиболее важных факторов при анализе технологических процессов, а также для оценки величины и характера их вклада в исследуемые характеристики. Регрессионный анализ используют в системах менеджмента качества для выработки корректирующих действий при управлении качеством продукции или ретроспективном изучении изменений в материалах или условиях производства.

Воздействия неучтенных переменных, погрешностей измерений и других источников необъясненных вариаций отклика могут усложнить моделирование. Выбор наиболее подходящего метода для анализа определяется предположениями, лежащими в основе рассматриваемой регрессионной модели, и характеристиками имеющихся данных.

В статье анализируются широко используемые методы и подходы, применяемые при обработке данных, собранных с реально функционирующего объекта, для выяснения причинно-следственных связей на примере процесса отжига листового стекла. Анализируемая выборка состояла из 332 ретроспективных суточных

данных процесса отжига. Выборка неоднородная [2]. Коэффициент вариации отходов отжига составлял значительную величину – 170%.

При построении моделей обычно задаются требуемой точностью описания процессов. При отсутствии таких требований можно воспользоваться рекомендациями, изложенными в работе [3]. Множественный коэффициент корреляции уравнения регрессии должен быть равен или больше 0.86, что соответствует случаю, когда стандартная ошибка модели в два раза меньше среднеквадратичного изменения зависимой переменной.

Выборка отходов отжига стекла характеризуется средней арифметической величиной, равной 0,37% и среднеквадратичным отклонением 0,63%. С учетом рекомендаций, изложенных в [3], стандартная ошибка разрабатываемой модели не должна превышать величины $Se=0,5*0,63=0,315\%$, что соответствует остаточной дисперсии модели $Se^2=0,099 (\%)^2$.

На практике часто используют линейные регрессионные модели для описания причинно-следственных связей ввиду их простоты. Так, регрессионная модель, описывающая отходы при отжиге стекла, имеет вид [2]:

$$y = -29,12 + 0,063x_1 - 188,64x_2 + 3,13x_3 + 1,28x_4 - 0,044x_5 - 0,073x_6 - 0,098x_7 + 0,036x_8 - 0,01x_9 + 3,15x_{10} \quad , \quad (1)$$

где x_1 – отбортовка ленты стекла, %; x_2 – суточное изменение плотности вырабатываемого стекла, г/см³; x_3 – весовое содержание Na_2O в составе шихты, %; x_4 – весовое содержание CaO в составе шихты, %; x_5 – температура ленты стекла на выходе флоат-ванны, °С; x_6 – толщина ленты стекла, мм; x_7 – оптические искажения стекла в отраженном свете, растр 3-ей долянки, мм; x_8 – температура в зоне А печи отжига, °С; x_9 – температура в зоне С печи отжига, °С; x_{10} – наклон температурной кривой вдоль туннели печи отжига, °С/м.

Коэффициент детерминации модели невысокий, равен 38%. Он показывает долю вариации зависимой переменной, обусловленную влиянием на нее факторных переменных. Влияние неучтенных факторов на отходы отжига значительное, равно 62%. Точность модели

регрессии невысокая, остаточная дисперсия модели равна $Se^2=0,24(\%)^2$.

Причинами низкого качества регрессионной модели (1) могут быть нелинейная структура и невыполнение предпосылок регрессионного анализа: факторные переменные не должны содержать погрешности измерений, должны быть взаимно не коррелированными; остатки регрессионной модели должны быть не коррелированными и описываться нормальным законом распределения.

Проведены исследования по выявлению причин, оказавших влияние на точность разрабатываемой регрессионной модели. Анализ остатков линейной регрессионной модели выявил их коррелированность. Коэффициент корреляции $r(1)=0,28$, статистически значим. Для исключения влияния коррелированности наблюдений на качество модели использовался обобщенный метод наименьших квадратов для оценки параметров регрессионной модели. После уточнения параметров линейной регрессионной модели точность ее увеличилась незначительно. Остаточная дисперсия модели составила величину $Se^2=0,239 (\%)^2$, что не удовлетворяет предъявляемым требованиям по точности.

Для учета возможной нелинейной зависимости отходов отжига от влияющих факторов были построены модели на нейронных сетях. Модель *MLP* (10,5,1) учитывала все 10 факторов, влияющих на отходы отжига (1). Ошибки нейросетевой модели составили величины: на обучающей выборке 0,509, контрольной - 0,515, тестовой - 0,437%. Нейросетевые модели отжига так же не удовлетворяют требованиям по точности описания отходов.

Статистическая выборка, используемая для описания «режим - отходы отжига», содержит ошибки в данных. Эти ошибки ухудшают точность разрабатываемых моделей. Для уменьшения влияния погрешностей в данных строилась модель на нечетких множествах. Модель разрабатывалась с помощью функций синтеза нечетких систем с вычитающей кластеризацией (*genfis2*). Остаточная дисперсия модели составила величину $Se^2=0,21 (\%)^2$, что не удовлетворяет предъявляемым требованиям по точности.

Таким образом, ни она из разработанных моделей, регрессионные, на нейронных сетях и нечетких множествах, не удовлетворяют требованиям по точности описания зависимости отходов от режима

отжига, параметров вырабатываемой ленты и химического состава стекла. Причиной является неоднородность статистической совокупности анализируемой выборки отходов, используемой для построения моделей (рис.1). Неоднородность выборки не позволяет описывать отходы в процессе отжига стекла моделями с постоянными параметрами.

Проблема может быть решена использованием адаптивных моделей на нечетких множествах. Параметры адаптивных моделей уточняются при превышении дисперсией погрешности прогноза отходов отжига величины $Se^2=0,099$ (%)².

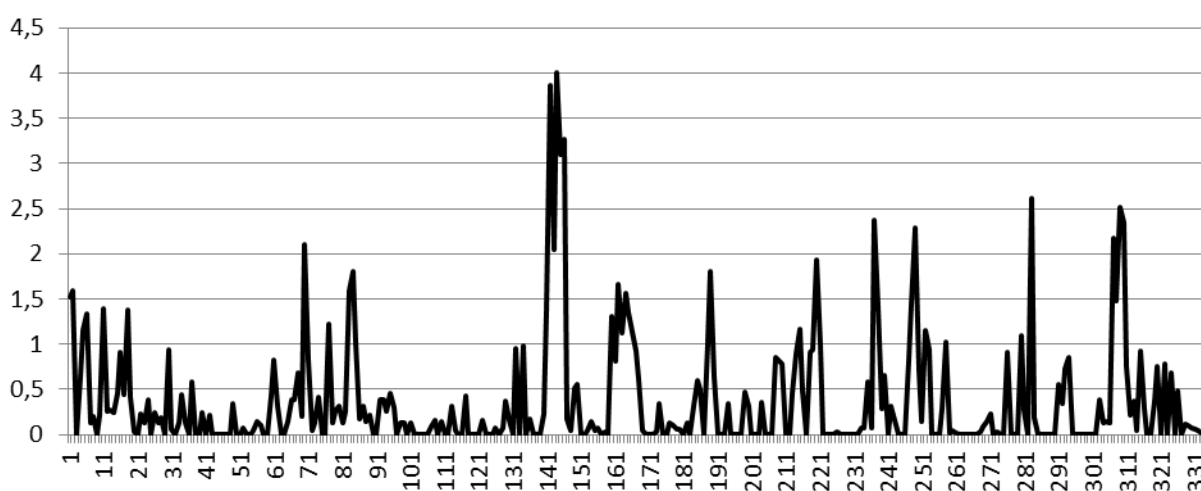


Рис. 1. График изменения отходов стекла при отжиге в процессе выработки.

Результаты испытаний адаптивной модели на нечетких множествах приведены в табл.1.

Таблица 1

Результаты испытаний адаптивной модели отходов отжига

Обучающая выборка	Дисперсия погрешности обучения	Тестовая выборка (прогнозирование)	Дисперсия прогнозирования
30 - 50	$1,4 \cdot 10^{-28}$	52 - 63	0,062
65 - 84	$2,12 \cdot 10^{-27}$	86 - 96	0,516 ^{*)}
108 - 128	0,006	129 - 149	$3,9 \cdot 10^{-27}$
108 - 128	0,006	129 - 169	0,8 ^{*)}
108 - 148	-	148 - 158	0,86 ^{*)}

Примечание: *) – случаи прогнозирования отходов с большими погрешностями.

На рис.2 приведен пример обучение модели на нечетких множествах на первых 20-и измерениях (измерения 108-128, рис. 1) и прогнозирование последующих 40-а данных(129-169, рис. 1). Как видно на графике, ближний прогноз отходов до 20-и шагов является точным, а дальнейшее увеличение диапазона прогнозирования приводит к возрастанию ошибок.

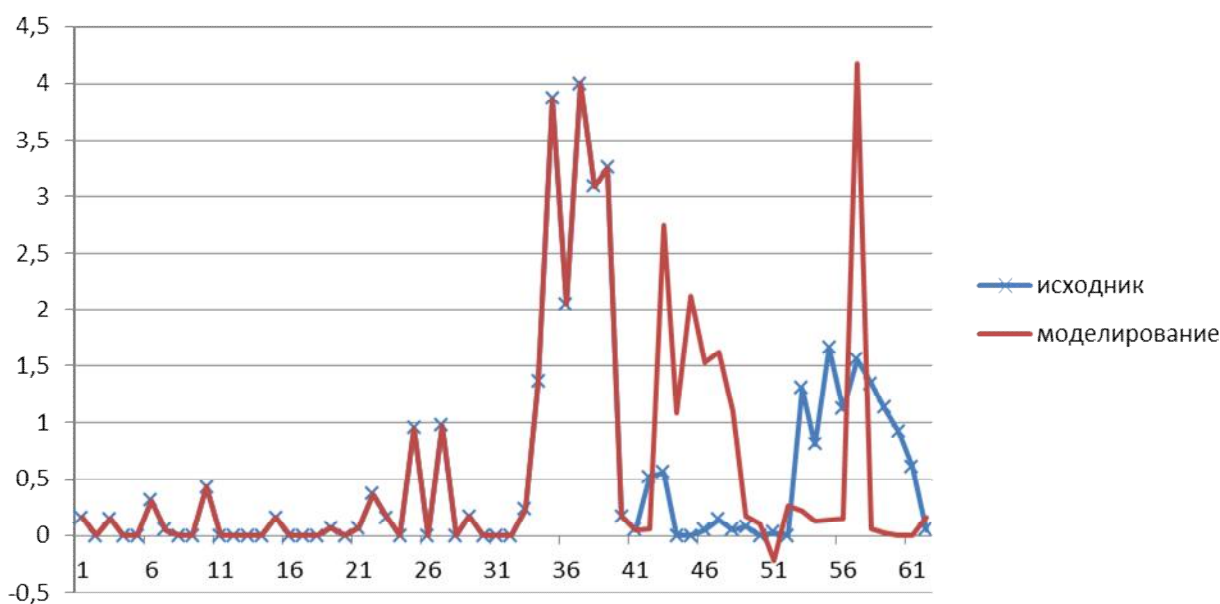


Рис. 2. Испытания адаптивной модели отходов отжига

Как следует из проведенных исследований, применение статистических методов в системах менеджмента качества при анализе технологических процессов (причинно-следственных связей) требует значительных усилий для получения достоверного описания процесса и выработки эффективных корректирующих действий для повышения качества вырабатываемой продукции.

Литература

1. ГОСТ Р ИСО/ТО 10017-2005. Статистические методы. Руководство по применению в соответствии с ГОСТ Р ИСО 9001.
2. Макаров Р.И. Моделирование процесса отжига в производстве листового стекла. АМиСОД, №27, 2014. С.3-10.
3. Бородюк В.П., Лецкий Э.К. Статистическое описание промышленных объектов. М.: Энергия, 1971.-112с.

ТЕЛЕФОН ДОМАШНИЙ 2922-53-55-87

MAKAROV.RUSLAN@GMAIL.COM