

УДК 664.6

Формирование целевой функции оценки качества раскатки слоеного теста

Алексеев Г.В., профессор, Андреев А.Н., доцент, andreevanatoly@yandex.ru

Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий

В работе поставлено первоначальной целью задач статистической обработки для выбранных вариантов раскатки проверить наличие мультиколлинеарности между варьируемыми факторами, определить параметры уравнения регрессии для каждого результирующего фактора эффективности процесса раскатки и проверить статистическую значимость уравнений в целом и отдельных коэффициентов уравнений. Полученная квадратичная модель качества раскатки слоеного теста более точно описывает характер изменения соответствующей поверхности отклика. Становится возможным найти оптимальные раскатки теста.

Ключевые слова: слоеные изделия, раскатка, слоение, статистическая обработка, регрессия.

Одной из тенденций развития отраслей пищевой промышленности, связанных с переработкой сельскохозяйственного сырья и производством продуктов питания, является всемерное удовлетворение потребностей потребителя при одновременном снижении затрат на производство путем уменьшения ручного труда, сбережения сырья и энергии, а также экономии вспомогательных средств [1].

Слоеные изделия представляют собой штучные изделия из дрожжевого или бездрожжевого слоеного теста, характерной особенностью которых являются большое содержание жира и слоистая структура. Слоеные изделия состоят из легко отделяемых, но связанных между собой тонких слоев пропеченного теста, между которыми находятся жировая и воздушная

прослойки; наружные (поверхностные) слои — твердые, внутренние — мягкие [2].

. Согласно ГОСТ ..слоение - придание тесту слоистой структуры путем наложения на раскатанное тесто сливочного масла, маргарина или жировых продуктов, предназначенных для слоения теста, с последующей многократной его раскаткой.

На хлебопекарных и кондитерских предприятиях для раскатки слоеного теста наибольшее распространение получили валковые тестораскаточные машины и ламинаторы, работающие отдельно или включенные в механизированные линии [3].

Качество раскатки слоеного теста (% обжатия пласта теста) $Y(X_1, X_2, X_3)$, на основании исследований [4] предположительно описывается взаимосвязью следующих факторов:

X_1 – зазор между валками, мм;

X_2 – толщина пласта теста до раскатки, мм;

X_3 – количество проходов теста через валки, раз;

При проведении эксперимента получены статистические данные помещенные в таблице 1.

Поставим первоначальной целью задачи статистической обработки для выбранных вариантов раскатки проверить наличие мультиколлинеарности между варьируемыми факторами и определить параметры уравнения регрессии для каждого результирующего фактора эффективности процесса раскатки.

Также необходимо проверить статистическую значимость уравнений в целом и отдельных коэффициентов уравнений.

Кроме того, требуется проверить отсутствие гетероскедастичности и автокорреляции остатков исследуемых моделей, а также установить адекватность и точность уравнений регрессии.

Исходные данные статистической обработки экспериментальных данных процесса раскатки слоеного теста

№ раскатки	Варьируемые параметры			Качество раскатки
	X ₁	X ₂	X ₃	Y
1	16	40	3	62,5
	12	25	3	72,0
	9	18	3	55,6
2	16	40	4	62,5
	12	25	4	72,0
	9	18	4	55,6
	5	10	4	80,0
3	15	30	4	83,3
	12	25	4	64,0
	8	16	4	68,8
	5	11	4	54,5
4	18	35	5	85,7
	15	30	5	83,3
	12	25	5	64,0
	8	16	5	68,8
	5	11	5	63,6

Первым этапом статистической обработки является этап построения корреляционных моделей множественной регрессии.

Уравнение линейной модели множественной регрессии:

$$Y(X_1, X_2, X_3) = a_0 + a_1 X_1 + \dots + a_i X_i \quad (1)$$

Цель задачи – найти коэффициенты линейной модели множественной регрессии в заданном уравнении (a_0, a_1, \dots, a_i) .

Классический подход к оцениванию параметров линейной регрессии основан на методе наименьших квадратов (МНК).

МНК позволяет получить такие оценки параметров, при которых сумма квадратов отклонений фактических значений результирующего признака Y от теоретических Y минимальна:

$$\sum_i \varepsilon_i^2 \rightarrow \min \quad (2)$$

- 1) проверка наличия мультиколлинеарности между факторами

Произведем сравнительную оценку влияния различных параметров (X_i) на фактор (Y) и взаимосвязь факторов между собой с использованием значений парных коэффициентов корреляции (r_{ij}).

Для нахождения матрицы коэффициентов парной корреляции используем табличный редактор «Excel», выполнив следующие команды: «Сервис» – «Анализ данных» – «Корреляция». Затем в диалоговом окне «Корреляция» в поле «Входной интервал» вводим адреса ячеек таблицы 2.15, включая названия реквизитов. Установив отметки в окне «Метки в первой строке» и «По столбцам», выбираем параметр выбора «Новый рабочий лист». Получим результат приведенный в Приложении 1.

Для проверки значимости коэффициентов парной корреляции используют t -критерий Стьюдента. Для этой цели требуется найти для каждого коэффициента парной корреляции значение t -критерия Стьюдента, который рассчитывается по формуле:

$$t_{\phi} = \sqrt{\frac{r^2(n-2)}{1-r^2}}$$

(3)

где r – значение коэффициента парной корреляции; n – число наблюдений ($n=4$). Полученные данные записывают в таблицу.

Сравним t_{ϕ} (фактическое значение) для каждого коэффициента парной корреляции с t -критическим (табличное значение) для 5% уровня значимости (двустороннего) и числа степеней свободы $\nu = n - 2$ (в нашем случае $\nu = 2$). В данном случае $t_{кр} = 2,23$

Если $t_{\phi} > t_{кр}$, то коэффициент парной корреляции признается значимым. В рассматриваемом случае все коэффициенты парной корреляции (X_i, Y) признаются значимыми. С другой стороны значения этих коэффициентов свидетельствуют о том, что если, например, параметр раскатки X_1 и Y слабо взаимосвязаны, то в получаемом уравнении регрессии можно пренебречь слагаемыми с X_1 . Вместе с тем, поскольку анализируемые

переменных получены экспериментально и многократно проверены, для построения более объективной общей модели процесса раскатки слоеного теста целесообразно использовать все варьируемые показатели.

Оценка параметров уравнения регрессии для Y осуществляется по методу наименьших квадратов с использованием данных после исключения незначимых параметров. Для проведения анализа с использованием инструмента *Регрессия* выполняют следующие действия:

- a) выбирают команду *Сервис* \Rightarrow *Анализ данных*;
- b) в диалоговом окне «Анализ данных» выбирают инструмент *Регрессия*, после чего нажимают ОК;
- c) в диалоговом окне *Регрессия* в поле «Входной интервал Y » вводят адрес диапазона ячеек зависимой переменной Y_i , а в другое поле адрес диапазона для X_i .
- d) устанавливают флажок *Метки в первой строке*;
- e) устанавливают переключатель *Новая рабочая книга*;
- f) в поле «Остатки» ставят необходимые флажки: *Остатки* и *График остатков*;
- g) нажимают ОК.

Полученные результаты для результирующего фактора качества процесса раскатки слоеного теста приведены в продолжении Приложения 1.

В одном из разделов таблицы регрессионной статистики как R-квадрат обозначен коэффициент детерминации, который показывает долю вариации результативного признака, находящегося под действием изучаемых факторов. В других разделах этой же таблицы приведены коэффициенты уравнения регрессии a_0, a_1, \dots, a_3 , и t -статистики, используемые для проверки значимости коэффициентов. Уравнение регрессии зависимости результирующего параметра – качества раскатки от основных варьируемых параметров процесса получим, таким образом, в виде:

$$Y = 44,08 + 5,17X_1 - 1,86X_2 + 2,60X_3 \quad (4)$$

Полученное уравнение регрессии можно интерпретировать графически для разного количества проходов теста через валки следующим образом (рис.5). С увеличением количества проходов качество теста Y возрастает, о чем говорит положение соответствующих поверхностей отклика.

Анализ регрессионной статистики, приведенной в приложении 1, свидетельствует о невысоком значении множественного коэффициента детерминации R^2 , который говорит о том, что построенная модель объясняет только 47% вариации зависимой переменной под воздействием включенных факторов. Таким образом, либо в модели учтены не все влияющие факторы, либо в нее нужно включать слагаемые как минимум с квадратичными степенями варьируемых факторов.

Проведем статистическую обработку экспериментальных данных при четырехкратном проходе теста через валки с использованием нелинейной регрессионной модели, то есть используем метод наименьших квадратов для поиска выражения вида

$$Y(X_1, X_2) = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_{11}X_1^2 + a_{22}X_2^2 + a_{12}X_1X_2 \quad (5)$$

Как и раньше воспользуемся для этой цели пакетом прикладных программ Excel, вычислив вспомогательные величины в соответствии с приложением 2.

Построенная теперь модель имеет вид

$$y = 146,46 + 72,0x_1 - 44,76x_2 - 22,49x_1^2 - 3,65x_2^2 + 19,0x_1x_2 \quad (6)$$

Для такой модели коэффициент множественной детерминации $R^2 = 0.89$. Это говорит о том, что 89% вариации качества раскатки слоеного теста объясняется построенной моделью.

Сравнивая результаты линейной и нелинейной аппроксимации экспериментальных данных (рис. 1) можно сделать вывод о том, квадратичная модель более точно описывает характер изменения соответствующей поверхности отклика. Становится возможным найти оптимальные режимы раскатки теста.

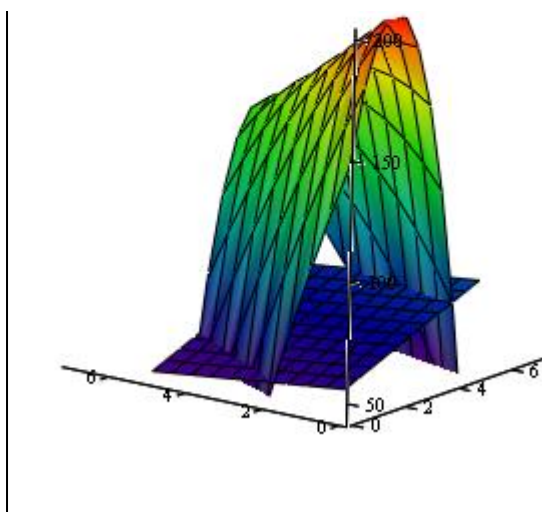


Рис. 1 Линейная и квадратичная модели качества раскатки слоеного теста

y2,y21

На основании экспериментального исследования влияния механического обжатия теста валками машины, выработаны режимы раскатки слоеного теста, рекомендуемые для практического применения (табл.2)

Таблица 2

Рекомендуемые режимы раскатки слоеного теста на тестораскаточной машине

Технологическая операция	Проход теста через валки	Зазор между валками, мм	Толщина пласта теста, мм		Обжатие пласта теста, Δh , %
			до прохода через валки	после прохода через валки	
Первая раскатка	первый	16	40	25	60
	второй	12	25	18	60
	третий	9	18	10	50
Вторая раскатка	первый	16	40	25	60
	второй	12	25	18	60
	третий	9	18	10	50
	четвертый	5	10	8	50
Третья раскатка	первый	18	35	30	50
	второй	15	30	25	50
	третий	12	25	16	50
	четвертый	8	16	11	50
	пятый	5	11	7	50
Четвертая раскатка	первый	15	30	25	50

	второй	12	25	16	50
	третий	8	16	11	50
	четвертый	5	11	6	50

Для получения хорошего, стабильного качества слоеного полуфабриката рекомендуется проводить раскатку с величиной относительного обжатия пласта 50%, при всех стадиях обработки теста. Вместе с тем, экспериментально было установлено, что первую и вторую раскатку можно осуществлять при повышенной величине обжатия 60 – 65 %. При этом количество проходов теста через валки уменьшается с шести до четырех, увеличивается производительность тестораскаточной машины, явление синерезиса не наблюдается.

Литература

1. Алексеев Г.В., Головацкий Г.А., Краснов И.В. Некоторые направления повышения эффективности технологического оборудования для переработки пищевого сырья. – Известия СПбГУНиПТ, 2007, №3, С. 52-54.
2. . Андреев А.Н. Производство сдобных хлебобулочных изделий. СПб, ГИОРД, 2003. С.480.
3. Арет В.А., Николаев Б.Л., Николаев Л.К. Физико-механические свойства сырья и готовой продукции.- СПб.: ГИОРД, 2009.- 448 с.
4. Андреев А.Н. Расчет энергосиловых параметров процесса раскатки теста на валковой машине. Вопросы торгово-технологического оборудования: Внутривуз. Сб. науч. Тр. -Л.: ЛИСТ, 1975, вып. 50. С. 42-46.

Formation of criterion function of an estimation of quality раскатки flaky pastry

Alekseev G. V д.т.н., Andreev A.N. к.т.н.

Saint-Petersburg state university of refrigeration and food engineering

In work it is set as by the initial purpose of a problem of statistical processing for the chosen variants раскатки to check up multicollinearity presence between varied factors, to define parameters of the equation of regress for each resultant factor of efficiency of process раскатки and to check up the statistical importance of the equations in whole and separate factors of the equations. The received square-law model of quality раскатки flaky pastry describes character of change of a corresponding surface of the response more precisely. Begins possible to find optimum раскатки the test.

Key words: puff products, раскатка, слоение, statistical processing, regress.