

МОДЕЛЬНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ФАКТОРОВ (НА ПРИМЕРЕ ПРОЦЕССОВ В МАКАРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ)

д.т.н., проф. А.И. Овчаренко, М.В. Шапиро

В данной статье приведены научные выкладки и математические модели влияния входных параметров производства макаронных изделий - муки и воды - на выходные параметры макаронного теста. На базе вышеуказанной информации возможно изготовление резонансных влагомеров, необходимых для автоматизации управления производством макаронных изделий.

Простейшая рецептура теста (вода и мука) в макаронной промышленности реализуется на основе функциональных зависимостей [1]:

$$W_T = (100B + W_M M) / (B + M); \quad (1)$$

$$T_T = (C_B T_B + C_M T_M) / (B + M) C_T, \quad (2)$$

где W_T - значение влажности теста, которую необходимо иметь на выходе системы подготовки теста (СПТ), [%];

B - доза воды на входе СПТ, [кг];

M - доза муки на входе СПТ, [кг];

W_M - влажность муки на входе СПТ, [%];

T_T - значение температуры теста, которую необходимо иметь на выходе СПТ, [K⁰];

T_B - температура воды на входе СПТ, [K⁰];

T_M - температура муки на входе СПТ, [K⁰];

C_B, C_M, C_T - теплоемкости воды, муки и теста соответственно, [Дж/кг K⁰].

По существу выражения (1) и (2) являются косвенными критериями качества теста. Выражения (1), (2) дают возможность осуществить аналитические оценки влияния входных переменных на выходные параметры теста. С математической точки зрения задача сводится к разложению в ряды Тейлора с обычными для этих случаев допущениями. Полагают, что отклонения входных переменных малы и членами ряда второго и высшего порядка малости можно пренебречь. Начнем с функции влажности теста.

Абсолютное значение полного дифференциала функции (1) с учетом принятых допущений равно

$$\begin{aligned}
dW_T &\approx (\partial W_T / \partial B) \Delta B + (\partial W_T / \partial M) \Delta M + (\partial W_T / \partial W_M) \Delta W_M = \\
&= [M(100 - W_M) \Delta B] / (M + B)^2 - [B(100 - W_M) \Delta M] / (M + B)^2 + \\
&+ M \Delta W_M / (M + B).
\end{aligned} \quad (3)$$

Относительное значение полного дифференциала отыщем, разделив левую и правую часть выражения (3) на значение функции в окрестности точки разложения, т.е. на W_T :

$$\begin{aligned}
dW_T / W_T &\approx [M(100 - W_M) \Delta B] / W_T (M + B)^2 - \\
&- [B(100 - W_M) \Delta M] / W_T (M + B)^2 + M \Delta W_M / W_T (M + B).
\end{aligned} \quad (4)$$

Теперь в (4) умножим и разделим каждый член на аргумент и введем обозначения относительных отклонений аргументов:

$$\chi_B = \Delta B / B; \quad \chi_M = \Delta M / M; \quad \chi_{W_M} = \Delta W_M / W_M. \quad (5)$$

Тогда вместо (4) с учетом (5) запишем

$$dW_T / W_T \approx \alpha_B \chi_B + \alpha_M \chi_M + \alpha_{W_M} \chi_{W_M}, \quad (6)$$

где α_B – функция влияния по параметру B :

$$\alpha_B = M(100 - W_M)B / W_T (M + B)^2; \quad (7)$$

α_M – функция влияния по параметру M :

$$\alpha_M = -B(100 - W_M)M / W_T (M + B)^2 M; \quad (8)$$

α_{W_M} – функция влияния по параметру W_M :

$$\alpha_{W_M} = MW_M / W_T (M + B). \quad (9)$$

Интересен тот факт, что функции влияния (7), (8) равны по модулю и противоположны по знаку. Это означает, что, если выполнить условие

$$\chi_B = \chi_M, \quad \text{т.е.} \quad \Delta B / B = \Delta M / M, \quad (10)$$

то (6) превратится в

$$dW_T / W_T \approx \alpha_{W_M} \chi_{W_M}. \quad (11)$$

На практике соотношение (10) выполнить точно достаточно трудно. Поэтому с точки зрения подавления влияния дестабилизирующих факторов интерес представляет соотношение функций влияния α_B , α_M , α_{W_M} . Учитывая отмеченное равенство модулей α_B , α_M , исследуем относительную функцию влияния

$$\beta = \alpha_B / \alpha_{W_M} = \frac{|\alpha_B|}{\alpha_{W_M}} = \frac{(100 - W_M)B}{(M + B)W_M}. \quad (12)$$

Исследование функции (12) показывает, что она монотонна и практически линейна относительно W_M . Графики (12) приведены на рис.1. Из этих графиков следует, что в диапазоне $W_M = 11\% \dots 15\%$ и $W_T = 29\% \dots 33\%$ относительная функция влияния $\beta = 0,93 \dots 2,00$. Это означает, что при равных относительных отклонениях входных параметров от номинальных значений влияние факторов (M , B , W) примерно одинаково. Таким образом, повышение точности стабилизации влажности теста связано с повышением точности стабилизации M , и B , и W_M . Последний фактор, правда, стабилизировать нерационально и легче компенсировать его влияние. Это, в свою очередь, требует устройства измерения влажности муки в системе управления тестозамешивающим устройством.

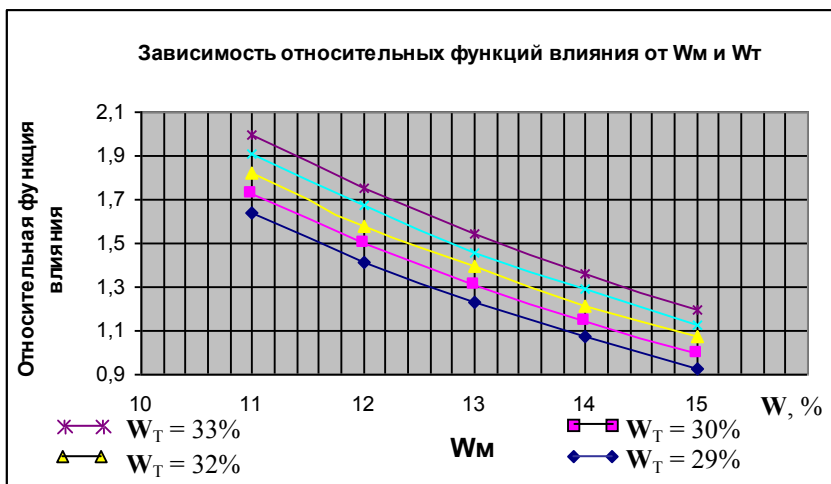


Рис.1. График зависимости относительных функций влияния от W_M и W_T

Перейдем к исследованию функции (2). В функции (2) темплоемкости муки и теста сами по себе являются функциями влажности муки и теста соответственно. С достаточной для практики точностью по табличным данным [1] их можно аппроксимировать линейными зависимостями вида:

$$C_M = 12,545W_M + 1925,5 ; \quad (13)$$

$$C_T = 12,558W_T + 2352,5 . \quad (14)$$

Если подставить выражения (13), (14) в исходное (2), то получим

$$T_T = \frac{[BC_B T_B + MT_M (12,545W_M + 1925,5)]}{[3608,3B + M(12,558W_M + 2352,5)]} . \quad (15)$$

Последнее выражение свидетельствует о том, что температура теста является функцией 5 переменных (**B**, **M**, **W_M**, **T_M**, **T_B**). Выполнив для функции (2) те же процедуры, что и ранее для функции (1), получим выражения для функций влияния:

– функция влияния по параметру **B** :

$$\alpha_B = (BC_B 3n - 3608,3Чл)B/T_T 3n^2; \quad (16)$$

– функция влияния по параметру **M** :

$$\alpha_M = [T_M (12,545W_M + 1925,5)3n - 12,556W_M Чл]M/T_T 3n^2; \quad (17)$$

– функция влияния по параметру **T_M** :

$$\alpha_{T_M} = 12,545 MW_M 3n T_M / T_T 3n^2; \quad (18)$$

– функция влияния по параметру **T** :

$$\alpha_{T_B} = BC_B T_B / T_T 3n^2; \quad (19)$$

– функция влияния по параметру **W_M** :

$$\alpha_{W_M} = [12,545 MT_M 3n - 12,558MЧл] W_M / T_T 3n^2; \quad (20)$$

Чл, 3n – соответственно числитель и знаменатель функции (15).

Функции влияния (16) - (20) являются гораздо более сложными, чем (7), (8), (9). Выявить их соотношения во всем пятифакторном пространстве представляется достаточно сложной задачей, результат решения которой к тому же трудно интерпретируем. Поэтому ограничимся точечной оценкой (примерно в центре области исследований) функций влияния.

Для исходных данных

$$W_M = 14\%; W_T = 31\%; M = 100 \text{ кг}; B = 24,6 \text{ кг}$$

и для

$$T_T = 313,16^\circ\text{K} (40^\circ\text{C}), T_M = 293,16^\circ\text{K} (40^\circ\text{C})$$

определим по формуле (2):

$$T_B = 346,8^\circ\text{K} (73,7^\circ\text{C}).$$

Для этих значений факторов рассчитаны значения функций влияния по (16) - (20):

$$\alpha_B = 0,088; \alpha_M = 0,329; \alpha_{T_M} = 0,575; \alpha_{T_B} = 4,707; \alpha_{W_M} = 0,031.$$

Результаты для наглядности в виде гистограммы приведены на рис.2.

Условные обозначения: 1 – **B**; 2 – **M**; 3 – **T_M**; 4 – **T_B**; 5 – **W_M**.

Если положить, что функции влияния некоррелированы, то погрешность оценивания результирующей функции влияния в среднеквадратическом смысле составит

$$\gamma = \left(\frac{\alpha_{ТВ}}{\sqrt{\sum_{i=1}^5 \alpha_i^2}} - 1 \right) 100\% \approx -1\% \quad . \quad (21)$$



Рис.2. Гистограмма влияния входных параметров муки на выходные параметры теста

По данным этого примера можно констатировать, что при равных относительных отклонениях входных параметров от номинальных значений влияние отклонения температуры воды более чем в 8 раз сильнее сказывается на температуре теста, чем отклонение температуры муки (ближайший по значимости фактор). Следовательно, необходимо признать, что температура воды является доминирующим фактором для температуры теста. Этот вывод вполне подтверждается практикой, где очень часто для повышения качества макарон в мини-прессах используют стабилизацию температуры воды.

Вкратце обсудим перспективы применения полученных результатов в практике конструирования и производства макаронных прессов малой производительности (25...100кг/час), которые достаточно широко используются [2]. Пресса указанного класса конструируются в настоящее время исключительно по принципу разомкнутого управления. Этот принцип при максимальной простоте реализации позволяет свести цену прессов к минимуму. Но это, конечно, происходит в ущерб качеству, ибо при разомкнутом управлении все дестабилизирующие воздействия в той или иной мере передаются на выход [3], а контроль влажности муки и теста, температуры воды и теста не осуществляется. По нашему мнению, такое управление макаронными прессами вообще и системами замешивания теста в частности, является одной из основных причин низкого качества продукции, получаемой на мини-прессах. В связи с этим, необходимо изучить возможность и целесообразность применения двух дру-

гих фундаментальных принципов управления: компенсации (управление по возмущению) и обратной связи (управление по отклонению).

Выводы.

Для систем замешивания теста в макаронной промышленности доминирующее дестабилизирующее влияние на выходные параметры оказывают влажность муки и температуры воды.

Для построения высококачественных макаронных прессов необходимо оснащать их регуляторами и (или) компенсаторами.

При создании указанных регуляторов проблемным является измерение влажности муки и теста. Видимо, по причине отсутствия промышленных экспресс-влажномеров подобные системы до сих пор не применяются.

Целесообразно рассмотреть возможность применения в макаронной промышленности резонансных экспресс-влажномеров сыпучих материалов [4]. При этом возможны два принципиально различных пути использования таких приборов:

- разовые измерения W_M (W_T) и ручная коррекция режимов дозаторов путем пересчета по формуле (1);
- периодические автоматические измерения W_M (W_T) и автоматическая коррекция режимов дозаторов.

Очевидно, что мотивированный выбор одного из указанных путей связан с оценками частотного спектра процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чернов М.Е., Медведев Г.М., Негруб В.П. Справочник по макаронному производству. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 304 с.
2. Лагода Т., Дерев'янюк О., Родіонова О. Виробництво, яке завжди прибуткове // Пропозиція. – 2000. – №12. – С. 80 - 83.
3. Теория автоматического управления / Под ред. А.А. Воронова – М.: Высшая школа, 1977. – 303 с.
4. Щапов П.Ф., Овчаренко А.И., Мигущенко Р.П. Оценка метрологических характеристик электромагнитного преобразователя влажности // Український метрологічний журнал. – 1999. – Вип.3. – С. 31 - 34.

Поступила в редколлегию 15.10.2001