Пономарева Е.И., Журавлев А.А., Зубкова Е.В., Левин Ю.Н.

*Воронежский государственный университет инженерных технологий
Воронеж, Россия*

doi: 10.18411/lj2015-12-7

Прогнозирование эффективной вязкости теста

Хлеб занимает важное место в рационе питания человека. Он должен быть вкусным, полезным и иметь привлекательный вид. Для расширения ассортимента хлебобулочных изделий функционального назначения рекомендуется применение сырья, повышающего его пищевую ценность, для обогащения хлеба из пшеничной муки первого сорта, полученной при отволаживании зерна пшеницы вспомогательным технологическим средством «EnzoWay 5.02» в работе использовали овсяную муку [3].

Определение реологических свойств, связано с необходимостью технологического контроля производства. Существенные отклонения от принятых норм повлияют на технологический процесс тестоприготовления и качество изделия. Большое внимание уделяют эффективной вязкости теста на стадии тестоприготовления и тесторазделки, так как данный параметр непосредственно влияет на режимы эксплуатации, тестомесильной, тестоделительной и тестоокруглительной машин [4].

Целью работы явилось определение эффективной вязкости теста с различной дозировкой овсяной муки во всем процессе брожения теста. Для приготовления теста использовали муку пшеничную первого сорта, полученную при отволаживании зерна пшеницы вспомогательным

технологическим средством «EnzoWay 5.02», ЭВР рН = 11,12 и овсяную муку [3].

Проведенные ранее исследования показали, что для приготовления теста целесообразно использовать муку овсяную в количестве $x_1 = 15$ кг. При большем ее содержании снижается удельный объем изделий.

Было принято решение о реализации эксперимента по симметричному и равномерному плану, чтобы сократить затраты на экспериментальные исследования и последующего сокращения объема вычислительных операций (табл. 1).

Таблица 1

Экспериментальные значения эффективной вязкости, зависящие от продолжительности брожения и дозировки овсяной муки

Дозировка овсяной муки, кг	Эффективная вязкость, Па·с	Продолжительность брожения, мин
10	3805	0
10	3672	20
10	3007	40
10	2549	60
15	3917	0
15	3742	20
15	3478	40
15	3443	60
20	3960	0
20	3709	20
20	3374	40
20	3277	60
25	4218	0
25	4172	20
25	4016	40
25	3984	60
30	4324	0
30	4051	20
30	3972	40
30	3824	60

Для описания зависимости эффективной вязкости $\eta_{\text{эф}}$ от дозировки D овсяной муки и продолжительности брожения теста $t_{\text{бр}}$ предлагается мультипликативная модель вида [1]

$$y = Ax_1^n \cdot x_2^m, \quad (1)$$

где y - эффективная вязкость, Па·с, x_1 – дозировка овсяной муки, кг; x_2

– продолжительность брожения теста, мин, A , n , m - регрессионные коэффициенты.

Логарифмируя левую и правую части уравнения (1), получим

$$\ln y = \ln A + n \ln x_1 + m \ln x_2, \quad (2)$$

Вводя новые переменные $Y = \ln y$, $a = \ln A$, $X_1 = \ln x_1$, $X_2 = \ln x_2$, $b_1 = n$, $b_2 = m$, приведение уравнения (1) к линейному виду

$$Y = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 \quad (3)$$

Полученные в ходе эксперимента данные прологарифмировали (табл. 2) для выражения линейного уравнения (3)

Для определения неизвестных регрессионных коэффициентов A , n , m , возможно записать функционал F согласно методу наименьших квадратов [2]

$$F = \sum_{i=1}^n (Y_i - a - b_1 X_{1i} - b_2 X_{2i})^2 \xrightarrow{a, b_1, b_2} \min \quad (4)$$

Дифференцируя функционал F по переменным a , b_1 , b_2 и приравнявая полученные частные к нулю, получим систему нормальных уравнений

$$\begin{cases} an + b_1 \sum_{i=1}^n X_{1i} + b_2 \sum_{i=1}^n X_{2i} = \sum_{i=1}^n Y_i \\ a \sum_{i=1}^n X_{1i} + b_1 \sum_{i=1}^n X_{1i}^2 + b_2 \sum_{i=1}^n X_{1i} X_{2i} = \sum_{i=1}^n Y_i X_{1i} \\ a \sum_{i=1}^n X_{2i} + b_1 \sum_{i=1}^n X_{1i} X_{2i} + b_2 \sum_{i=1}^n X_{2i}^2 = \sum_{i=1}^n Y_i X_{2i} \end{cases} \quad (5)$$

Решив систему (5) одним из известных методов (Гаусса, Крамера и пр.) возможно определение коэффициентов a , b_1 , b_2 . С учетом введенной ранее замены переменных регрессионные коэффициенты составят $n_1 = b_1$, $m = b_2$.

Используем прологарифмированные данные из табл. 2 для решения системы уравнений (5), получи

$$\begin{cases} 20a + 58,51b_1 + 53,90b_2 = 164,31 \\ 58,51a + 172,51b_1 + 157,66b_2 = 481,30 \\ 53,90a + 157,66b_1 + 197,73b_2 = 449,96 \end{cases}$$

Таблица 2

Матрица планирования и результаты эксперимента

Выходной параметр		Прологарифмированные данные								Выходной параметр
x_2	x_1	X_1	X_2	Y	X_1^2	X_2^2	$Y \cdot X_1$	$Y \cdot X_2$	$X_2 \cdot X_1$	y
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	10	2,30258	0	8,24407	5,30189	0	18,9826	0	0	3805
20	10	2,30258	2,99573	8,20849	5,30189	8,97441	18,9007	24,5904	6,89792	3672
40	10	2,30258	3,68887	8,00869	5,30189	13,6078	18,4407	29,5431	8,49395	3007
60	10	2,30258	4,09434	7,84345	5,30189	16,7636	18,0602	32,1138	9,42757	2549
0	15	2,70805	0	8,27308	7,33353	0	22,4039	0	0	3917
20	15	2,70805	2,99573	8,22737	7,33353	8,97441	22,2801	24,6470	8,11259	3742
40	15	2,70805	3,68887	8,15421	7,33353	13,6078	22,0820	30,0791	9,98967	3478
60	15	2,70805	4,09434	8,14409	7,33353	16,7636	22,0546	33,3447	11,0876	3443
0	20	2,99573	0	8,28399	8,97442	0	24,8166	0	0	3960
20	20	2,99573	2,99573	8,21851	8,97441	8,97441	24,6204	24,6204	8,97441	3709
40	20	2,99573	3,68887	8,12385	8,97441	13,6078	24,3368	29,9679	11,0509	3374
60	20	2,99573	4,09434	8,09468	8,97441	16,7636	24,2495	33,1424	12,2655	3277
0	25	3,21887	0	8,34711	10,3611	0	26,8683	0	0	4218
20	25	3,21887	2,99573	8,33615	10,3611	8,97441	26,8330	34,1310	9,64289	4172
40	25	3,21887	3,68887	8,29804	8,71687	13,6078	26,7103	30,6104	11,8740	4016
60	25	3,21887	4,09434	8,29004	10,3611	16,7636	26,6846	33,9422	13,1791	3984
0	30	3,40119	0	8,37193	11,5681	0	28,4746	0	0	4324
20	30	3,40119	2,99573	8,30671	11,5681	8,97441	28,2527	24,8847	10,1890	4051
40	30	3,40119	3,68887	8,28702	11,5681	13,6078	28,1858	30,5698	12,5466	3972
60	30	3,40119	4,09434	8,24902	11,5681	16,7636	28,0566	33,7744	13,9256	3824
Σ		58,5057	53,8947	164,310	172,512	196,729	481,294	449,962	157,657	

Теперь известны такие коэффициенты как: $a = 6,498$; $b_1 = 0,458$; $b_2 = 0,139$.

Проведем обратную замену данных коэффициентов и подставим их в уравнение (1), в итоге получим

Уравнение зависимости эффективной вязкости от дозировки овсяной муки

и продолжительности брожения теста имеет вид:

$$\eta_{\text{эф}} = 663,81 \cdot D^{0,458} \cdot \tau_{\text{бр}}^{0,139} \quad (6)$$

Таким образом, полученное уравнение позволяет прогнозировать и регулировать эффективную вязкость теста на всем этапе брожения в зависимости от содержания овсяной муки. Следовательно, данный метод прогнозирования эффективной вязкости теста можно использовать для разработки АСУТП и регулирования вязкости в производственных условиях.

Литература:

1. Грачев, Ю. П. Математические методы планирования эксперимента [Текст] / Ю. П. Грачев, Ю.М. Плаксин. – М.: ДеЛиПринт, 2005. – С. 296.
2. Львовский, Е. Н. Статические методы построения экспериментальных формул [Текст] / Е.Н. Львовский. – М.: Высшая школа, 1998. – С. 224.
3. Петриченко, В.В. Исследование влияния применения технологического вспомогательного средства «EnzoWay 5.02» при гидротермической обработке зерна пшеницы на свойства теста и хлеба [Текст] / В.В. Петриченко, Е.И. Пономарева, М.Г. Иванов, О.Н. Воропаева. - Хлебопродукты – 2015.-№5.- с. 51 – 54.
4. Пономарева, Е. И. Технология хлебобулочных изделий [Текст]/ Пономарева Е. И., Лукина С.И., Алехина Н.Н, Малютин Т.Н., Воропаева О.Н. – Воронеж, 2014.- С. 14 – 22..