

Профессор Г.О. Магомедов, профессор Е.И. Пономарева,
доцент А. А. Журавлев, аспирант О. В. Прибыткова
(Воронеж.гос. ун-т инж. технол.) кафедра технологии хлебопекарного, макаронного
и кондитерского производств, тел. (473) 255-38-51

Определение оптимальных параметров замеса сбивного полуфабриката из смеси ржаной и пшеничной муки

Исследовано влияние параметров замеса (давление, продолжительность сбивания, частота вращения месильного органа) сбивного теста на показатели качества готовых изделий.

In article influence of parameters замеса (pressure, duration of knocking down, frequency of rotation of mesilny body) sbivny dough from a mix of rye and wheat flour on indicators of quality of finished articles is investigated.

Ключевые слова: тесто, сбивной полуфабрикат.

При механическом разрыхлении теста важным является выбор оптимальных параметров замеса сбивного полуфабриката. Цель исследования – выбор режима приготовления теста из смеси ржаной и пшеничной муки, определение оптимальных значений частоты вращения вала сбивальной машины, давления подаваемого атмосферного воздуха в камеру, продолжительности сбивания полуфабриката.

Тесто из смеси ржаной (60 %) и пшеничной муки (40 %) влажностью 54 % замешивали на экспериментальной установке периодического действия, разработанной на кафедре технологии хлебопекарного, макаронного и кондитерского производства.

Основными факторами, влияющими на показатели качества теста, были выбраны: X_1 (3 – 9 мин) – продолжительность сбивания, X_2 (400 – 500 мин⁻¹) – частота вращения месильного органа и X_3 (0,2 – 0,4 МПа) – величина давления сжатого воздуха.

Соотношение ржаной и пшеничной муки 60 на 40 % выбрано в связи с тем, что повышение кислотности теста (с увеличением дозировки ржаной муки) способствует пептизации белков и одновременному набуханию, улучшению реологических свойств ограниченно набухшей части белков, но при дальнейшем увеличении дозировки ржаной муки, начиная с 70 %, наблюдается повышение объемной массы, увеличение эффективного

коэффициента сопротивления. Вероятно, это связано с разрушением частиц растворимых слизистых веществ ржаной муки и преобладающей части нерастворимых (набухших) частиц, которые, расщепляясь, образуют комплексы с белками и тем самым приводят к снижению скорости диффузии молекул в поверхностный слой и увеличению вязкости и объемной массы полуфабриката [1].

Из ранее проведенных экспериментальных исследований влажность теста составляла 54 %. Пределы изменения фактора времени сбивания теста 3-9 мин выбраны в связи с тем, что при сбивании теста менее 3 мин под избыточным давлением происходит насыщение системы воздухом, агрегирование набухших макромолекул клейковинных белков и их отталкивание. При сбивании более 9 мин происходит разрушение пенообразной массы, приводящее к уменьшению удельного объема хлеба и увеличению объемной массы, т. к. кинетические препятствия для коагуляции в виде электростатического отталкивания частиц дисперсной фазы уменьшаются, что приводит к агрегативной устойчивости.

Интервал изменения величины давления сжатого воздуха от 0,2 до 0,4 МПа выбран, потому что при сбивании теста при давлении меньше 0,2 МПа образование пенообразной массы происходит достаточно медленно, и образуется неравномерно разрыхленная структура с уплотненным межпоровым пространством, а сбивание при давлении более 0,4 МПа

приводит к быстрому разрушению структуры, вызванному синерезисом.

Предел изменения частоты вращения месильного органа от 400 до 500 мин⁻¹ выбран потому, что сбивание теста с частотой вращения месильного органа менее 400 мин⁻¹ приводит к более длительному процессу образования тестовой массы с неразвитой структурой, а сбивание теста с частотой вращения месильного органа выше 500 мин⁻¹ способствует уменьшению объема массы и образованию неравномерной структуры полуфабриката и изделия.

Все эти факторы совместимы и некоррелированы между собой. Критериями оценки влияния параметров сбивания приняли объемную массу теста (Y_1 , г/см³) и удельный объем хлеба (Y_2 , см³/100 г).

Для решения задачи оптимизации и параметров замеса был реализован активный эксперимент по системе центрального композиционного равномер-ротатбельного плана, обеспечивающего получение одинаковой величины дисперсии выходного параметра для любой точки в пределах изучаемой области.

В результате статистической обработки экспериментальных данных получили уравнения регрессии, адекватно описывающие зависимости критериев оценки Y_1 , Y_2 от исследуемых факторов. Воспроизводимость опытов, значимость регрессионных коэффициентов и адекватность уравнений подтверждена статистическими критериями Кохрена, Стьюдента, Фишера.

$$Y_1 = 0,501 - 0,019X_1 - 0,01X_2 - 0,013X_3 + 0,013X_1^2 + 0,01X_2^2 + 0,008X_3^2 \quad (1)$$

$$Y_2 = 221,058 + 1,863X_1 + 17,817X_2 + 3,463X_3 - 17,409X_1^2 - 15,393X_2^2 - 13,209X_3^2 - 1,429X_1X_2 - 1,667X_1X_3, \quad (2)$$

Анализ коэффициентов при линейных членах уравнений (1), (2) показал, что на объемную массу теста (Y_1 , г/см³) наибольшее влияние оказывает время сбивания и величина давления подаваемого атмосферного воздуха, а удельный объем изделия (Y_2 , см³/100 г) в большей степени зависит от частоты вращения месильного органа и величины давления подаваемого атмосферного воздуха.

Для поиска оптимальных значений независимых переменных X_1 , X_2 , X_3 , при которых

достигается минимальное значение Y_1 , составив систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dY_1}{dX_1} = -0,019 + 0,026X_1 = 0 \\ \frac{dY_1}{dX_2} = -0,01 + 0,02X_2 = 0 \\ \frac{dY_1}{dX_3} = -0,013 + 0,016X_3 = 0 \end{cases}$$

решением которой являются следующие значения: $X_1^* = 0,73$, $X_2^* = 0,5$, $X_3^* = 0,81$.

Аналогично находим оптимальные значения независимых переменных X_1 , X_2 , X_3 , при которых достигается минимальное значение Y_2 :

$$\begin{cases} \frac{dY_2}{dX_1} = 1,863 - 34,818X_1 - 1,429X_2 - 1,667X_3 = 0 \\ \frac{dY_2}{dX_2} = 17,817 - 30,786X_2 - 1,429X_1 = 0 \\ \frac{dY_2}{dX_3} = 3,463 - 26,148X_3 - 1,667X_1 = 0 \end{cases}$$

Решением являются значения $X_1^* = 0,024$, $X_2^* = 0,57$, $X_3^* = 0,13$.

Анализ результатов проведенной оптимизации показал, что оптимум по Y_1 не совпадает с оптимумом по Y_2 .

Для поиска компромиссного решения (поиска условий одновременно удовлетворяющих Y_1 и Y_2) была поставлена задача оптимизации методом перебора на равномерной сетке. В ходе решения осуществлялся расчет значений выходных параметров Y_1 , Y_2 в диапазоне изменения входных переменных:

$$\begin{aligned} 3 \leq X_1 \leq 9 \text{ мин;} \\ 400 \leq X_2 \leq 500 \text{ мин}^{-1}; \\ 0,2 \leq X_3 \leq 0,4 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

В результате расчетов найдены оптимальные значения параметров: $X_1 = 6,5$ мин; $X_2 = 470$ мин⁻¹; $X_3 = 0,35$ МПа, которые обеспечивают максимальное значение удельного объема $Y_2 = 218$ см³/100 г и минимальное значение объемной массы теста $Y_1 = 0,48$ г/см³, что гарантирует получение сбивного теста с лучшими характеристиками качества.

Проведем проверку найденных оптимальных параметров, оценку степени точности и надежности полученных значений параметров оптимизации. При оптимальных значениях X_1 , X_2 , X_3 были изготовлены образцы изделий

($n = 10$ шт.), для которых определяли объемную массу теста и удельный объем хлеба.

В таблице представлены средние арифметические значения указанных параметров y^0 и дисперсии S^2 , полученные по результатам 10 параллельных опытов. Как видно из таблицы расчетные и экспериментальные значения параметров оптимизации несколько отличаются друг от друга.

Для того чтобы эти различия признать несущественными и объяснить только случайной ошибкой, была выдвинута нуль-гипотеза о том, что расчетные и экспериментальные значения каждого параметра оптимизации принадлежат к одной и той же генеральной совокупности.

Для проверки выдвинутой нуль-гипотезы воспользуемся распределением Стьюдента. При этом для каждого параметра оптимизации вычисляем расчетное значение критерия Стьюдента (см. таблицу)

$$t_p = \frac{|y^0 - y^p|}{\sqrt{S^2}} \sqrt{n}$$

Сравнение каждого значения t_p с табличным $t_m = 2, 29$ (при числе степеней свободы $f = 9$ и принятой доверительной вероятности $\gamma = 95\%$) показывает для каждого параметра оптимизации $t_p < t_m$.

Т а б л и ц а 1

Результаты проверки оптимальных параметров

Параметр оптимизации	Значение параметра оптимизации		Дисперсия S^2	Расчетное значение критерия Стьюдента t_p	Ошибка δ	Доверительный интервал
	Расчетное y^0	Экспериментальное y^p				
Объемная масса теста Y_1 , г/см ³	0,489	0,448	0,0049	1,823	0,05	0,439–0,539
Удельный объем хлеба Y_2 , см ³ /100 г	218,331	217,15	3,42	2,011	1,34	216,991–219,671

Это указывает на то, что выдвинутая нуль-гипотеза может быть принята, т. е. различия между расчетным и экспериментальными значениями каждого параметра оптимизации следует признать несущественными (с доверительной вероятностью 95 %) и объяснить только случайной ошибкой.

Результаты вычислений по каждому параметру оптимизации представлены в таблице в виде доверительных интервалов $y^p \pm \delta$ при принятой доверительной вероятности $\gamma = 95\%$.

Как видно из таблицы, экспериментальные значения параметров оптимизации не выходят из-за границы соответствующих доверительных интервалов, полученных расчетным путем, что указывает на достоверность и надежность результатов.

Таким образом, было установлено влияние параметров замеса (давление сжатого воздуха, частота вращения месильного органа и продолжительность сбивания теста) на показатели качества сбивного полуфабриката из смеси ржаной и пшеничной муки. В результате статистической обработки экспериментальных данных получены математические и графиче-

ские зависимости исследуемых характеристик теста от изучаемых факторов.

На основании уравнений определены оптимальные параметры замеса, которые могут быть рекомендованы при производстве сбивного хлеба из смеси ржаной и пшеничной муки требуемого качества.

Правильность выбора оптимальных значений приготовления сбивного полуфабриката подтвердили серией параллельных экспериментов, которые показали сходимость результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Магомедов, Г. О. Научные и практические основы технологии сбивных функциональных хлебобулочных изделий [Текст] / Г. О. Магомедов, Е. И. Пономарева. – Воронеж, 2010. – 248 с.