

Исследование тепло-масообменных процессов в камере гигротермической обработки тестовых заготовок

А. Германчук, В. Теличкун, Ю. Теличкун, М. Десик

Abstract. The method of calculating the parameters of the environment in the hamber hihrotermal processing dough pieces. We describe a method of calculating the mass of condensed moisture on the surface of the dough piece. A best mode of the process hihrotermal processing.

Ключевые слова: гигротермическая обработка тестовых заготовок, параметры среды, площадь поверхности хлеба, масса сконденсированной влаги.

ВВЕДЕНИЕ

Увлажнение тестовых заготовок в начале выпечки, способствует увеличению объема изделий, улучшению их внешнего вида и аромата, уменьшение величины упека и усушки. В ряде случаев увлажнением корректируют процесс выпечки хлеба при недостаточном времени расстойки заготовок в расстойном шкафу.

Определяющим фактором увлажнения является суммарное количество влаги, сконденсировавшейся на заготовке по окончании процесса.

Существенное влияние на ход процесса гигротермической обработки, имеет температура среды $t_{ср}$, °C, и относительная влажность φ паровоздушной смеси. Так как температура тестовой заготовки перед выпечкой около $t_{т.вр} = 30^\circ\text{C}$, а температура среды имеет гораздо более высокие значения, то в таком случае расчет параметров влажного воздуха проводим для двух температур: температуры среды $t_{ср}$ и температуры поверхности тестовой заготовки $t_{т.вр}$.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Для определения парциального давления пара во влажном воздухе было проведено интерполяцию табличных данных по методу полинома Лагранжа с помощью CurveExpert V 1.4. Для наглядности результаты расчетов представлены в виде графика (рис.1).

Расчет параметров парогазовой смеси проводим по следующей методике:

1. Определяем давление насыщения при заданной относительной влажности (φ) для температуры среды (R_n) и температуры поверхностного слоя тестовой заготовки (т.е. пограничного) ($R_{т.вр}$): $R_n = \frac{P_n}{\varphi}$, $R_{т.вр} = \frac{P_{н.вр}}{\varphi}$, кгПа, (1)

где R_n – парциальное давление пара при заданной температуре кПа.

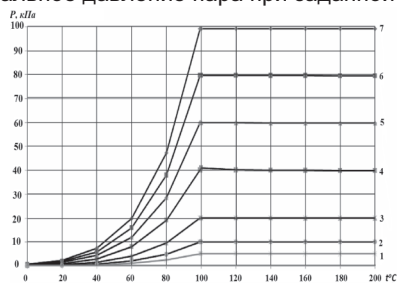


Рис.1 График зависимости парциального давления пара от температуры, при различных относительных влажностях среды:
1 - 5%; 2 - 10%; 3 - 20%; 4 - 40%; 5 - 60%; 6 - 80%; 7 - 100%.

2. Определяем точку росы ($t_{р}$) при температуре среды, и температуру пограничного слоя ($t_{рар}$):

$$t_{р} = \frac{283,7 \times \ln P_n + 115,72}{16,57 - 0,997 \times \ln P_n},$$

$$t_{рар} = \frac{283,7 \times \ln P_{рар} + 115,72}{16,57 - 0,997 \times \ln P_{рар}}, \text{ } ^\circ\text{C}; \quad (2)$$

3. Определяем влагосодержание (d) по формуле:

$$d = 622 \frac{P_n}{P_\theta - P_n}, \frac{\text{г}}{\text{кг}}$$

$$d_{ар} = 622 \frac{P_{рар}}{P_\theta - P_{рар}}, \frac{\text{г}}{\text{кг}}; \quad (3)$$

4. Определяем массовую долю (ψ) пара во влажном воздухе:

$$\psi = \frac{P_n}{P_\theta}, \frac{\text{мм.рт.ст.}}{\text{мм.рт.ст.}}, \psi_{ар} = \frac{P_{рар}}{P_\theta}, \frac{\text{мм.рт.ст.}}{\text{мм.рт.ст.}}; \quad (4)$$

где P_θ - барометрическое давление, 99,3 кПа.

5. Конденсация пара вызывает повышение температуры поверхности тестовой заготовки и соответствующий рост парциального давления пара, находящегося у поверхности в насыщенном состоянии при температуре поверхности, прекращение процесса происходит при достижении температурой поверхности значения температуры точки росы. Температуру поверхности тестовой заготовки определяем по формуле [6]:

$$t_{пов} = [0,0258 \cdot (t_{ср} - t_{нач}) - 1] \cdot \sqrt{\tau} + t_{нач} \quad (5)$$

где $t_{ср}$ - температура среды в зоне гиротермической обработки, $^\circ\text{C}$;

$t_{нач}$ - начальная температура тестовой заготовки, $^\circ\text{C}$;

τ - время обработки, с.

6. Расчет молекулярно-диффузионного потока проводим по методике, предложенной А.А. Михелевим и Н.Н. Дворицыным [4],

Плотность потока определяем по закону Фика:

$$I_{мин.д} = D \left| \frac{\partial \rho}{\partial y} \right|_{y=0} = \beta_\tau (\rho_{ик} - \rho_\tau), \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \times \text{с}} \quad (6)$$

где $\rho_{ик}$ - концентрация (парциальная плотность) пара у поверхности максимальной концентрации, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

ρ_τ - концентрация паров у поверхности тестовой заготовки, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

β_τ - коэффициент массоотдачи, отнесенный к разности концентраций в момент времени τ , $\frac{\text{м}}{\text{с}}$;

$\frac{\partial \rho}{\partial y}$ - градиент концентрации.

Коэффициент массоотдачи при таком переносе равен:

$$\beta_\tau = \sqrt{\frac{D}{\pi \tau}}$$

где τ - продолжительность процесса конденсации, с.

Коэффициент диффузии определяем по формуле:

$$D = 2.16 \times 10^{-5} \left(\frac{T_{\text{вз}}}{273} \right)^{1.9} \frac{\text{м}^2}{\text{сек}} \quad (7)$$

Плотность насыщенного водяного пара рассчитываем по эмпирической формуле:

$$\rho_{\text{н}} = 10^{0.6896} \cdot \frac{6.9t}{230} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad (8)$$

7. Количество влаги, сконденсировавшейся на поверхности за определенный промежуток времени:

$$m_{\tau} = m \times t, \frac{\text{кг}}{\text{м}^2} \quad (9)$$

где t - длительность гигротермической обработки, с;

m - количество влаги, сконденсировавшейся на 1 м^2 площади за единицу времени:

$$m = I_{\text{молд}} (\psi - \psi_{\text{вп}}), \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \times \text{сек}} \quad (10)$$

Большое значение при конденсации влаги из парогазовой среды имеет площадь поверхности тепло-массообмена, в данном случае это площадь поверхности тестовой заготовки.

Площадь поверхности хлеба рассчитываем, воспользовавшись приближенной формулой [7]:

$$S \approx n \cdot 4\pi R_{\kappa}^2 \quad (11)$$

где $n = 0.165 \cdot \frac{d}{h} + 0.782$ - коэффициент, который зависит от отношения диаметра к высоте;

где R_{κ} - радиус шара:

$$R_{\kappa} = \sqrt[3]{V \frac{3}{4\pi}}$$

V - объем тестовой заготовки, $V = 0.513 d^2 h k$;

h - высота тестовой заготовки, м;

k - коэффициент который учитывает форму хлеба, $k = 1.09$;

d - диаметр тестовой заготовки, м.

Площадь поверхности белого пшеничного хлеба массой 1 кг составит: $S_{\text{пов}} = 0.062 \text{ м}^2$

По рекомендациям, приведенным в работах А.А. Михелева [6], для получения глянцевого поверхности готовых изделий необходимо, чтобы сконденсировалось около $0.014-0.016 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}$ влаги.

Согласно расчетам при температуре пекарной камеры $t_{\text{п.к}} = 140^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности $\varphi = 80\%$ за время обработки 240с конденсируется $m_{\tau} = 0.013 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}$ влаги.

То есть теоретический расход пара на одну тонну продукции составит:

$$m_{на1 тонна} = S_{пов} m_{т} n = 0.8 \frac{кг}{т} \quad (12)$$

где $n = \frac{1000}{m_{т,заготовки}} = 1000 \text{ шт.}$ - количество тестовых заготовок на тонну продукции.

Для определения оптимального режима гигротермической обработки на основании проведенных расчетов и ранее полученных экспериментальных данных, нами проведено сравнение зависимости числа γ показателя, который характеризует качество поверхности (глянец) готовой продукции и массы сконденсировавшейся влаги от времени обработки и температуры среды (Рис.2).

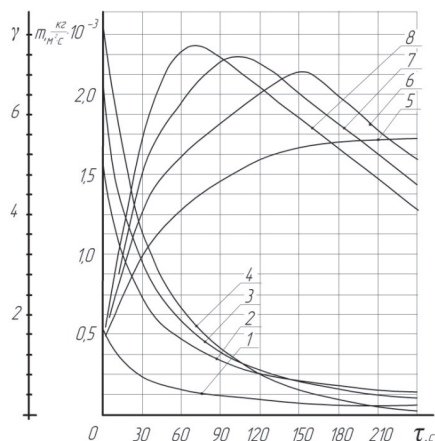


Рис.2. График зависимости массы сконденсировавшейся влаги (кривые 1,2,3,4), глянца поверхности (кривые 5,6,7,8) от времени обработки при относительной влажности среды $\varphi = 80\%$ и температуре: 1,6 – 80; 2,6 – 100; 3,7 – 120; 4,8 – 140°C

Результаты сравнения приведены в виде графика зависимости массы сконденсированной влаги от времени обработки, при различных режимных параметрах пекарной камеры. Число γ имеет наибольшее значение при максимальном количестве сконденсировавшейся влаги и длительности процесса.

Например, при температуре пекарной камеры $t_{п.к} = 140^\circ\text{C}$ и относительной влажности $\varphi = 80\%$ за время обработки 60 секунд на поверхности тестовой заготовки сконденсируется $m_{т} = 0,0119 \frac{кг}{шт}$ что соответствует числу $\gamma = 7.83$

Увеличение температуры среды, приводит к увеличению массы конденсата, числа γ и уменьшению времени гигротермической обработки.

Что касается температуры поверхности, то для распространенного режима обработки с температурой среды 100...140°C, $t_{пов}$ имеет примерно одинаковые значения 50-55°C, что соответствует температуре клейстеризации крахмала. Образование глянца хлебобулочных изделий зависит от изменения температуры поверхности тестовых заготовок в процессе конденсации влаги из парогазовой среды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Увеличение температуры среды и относительной влажности приводит к значительному повышению интенсивности процесса конденсации влаги на поверхности тестовой заготовки, что в свою очередь приводит к уменьшению времени обработки.

В рассмотренных температурных пределах 80...140 °С интенсивность процесса выше при температуре **140°C**, и относительной влажности **100%**, это обусловлено значительной разницей температур и влагосодержания на поверхности контакта (при температуре поверхности) и в объеме камеры пароувлажнения.

Дальнейшее повышение температуры среды не оказывает значительного влияния на процесс, из-за уменьшения значения парциального давления пара в среде. Но поддержание в камере гигротермической обработки, относительной влажности на уровне насыщения при высокой температуре среды, чтобы не вызвать перегрев пара, почти невозможно. Поэтому оптимальным режимом гигротермической обработки является температура среды **140°C**, и относительной влажности $\varphi = 80 - 85\%$ при таком режиме на поверхности тестовой заготовки сконденсируется достаточное количество влаги для получения максимального значения глянца поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Гинзбург А.С., Теплофизические основы процесса выпечки. М.:Пищепромиздат, 1955. – 476с.

[2] Тарабанов М.Г., Коркин В.Д., и др. Влажный воздух. Справочное пособие. АВОК 2004

[3] Лыков А.В., Теплопроводность и диффузия. – М.: Гизлехпром, 1941.

[4] Дворицын М.М., Михелев А.А. исследование процесса конденсации пара на поверхности заготовки при выпекании. «Хлебопекарская и кондитерская промышленность». 1971, №1, с. 7-11

[5] Воронец Д.,Козич Д. Влажный воздух: термодинамические свойства и применение: Пер.с сербхор.-М.: Энергопромиздат,1984.-с.,ил.

[6] Михелев А.А., Расчет и проектирование печей хлебопекарного и кондитерского производств / Михелев А.А., Ицкович Н.М.. – М.: Пищевая промышленность, 1968.-487с.

[7] Десик М.Г. влияние геометрических параметров на динамику внешнего массообмена / Десик М.Г., Теличкун В.І., Теличкун Ю.С. // Научные достижения молодежи по решению проблем молоді-вирішенню проблем питания человечества в XXI веке: программа и материалы 75-й научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, 21-22 апреля 2009 г. - К.: НУХТ, 2009 - с. 234.

Для контактов:

Проф. Владимир Иванович Теличкун, Национальный университет пищевых технологий (Киев), e-mail: tvill@meta.ua

Доклад был рецензирован.