

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИН ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ХЛЕБОПЕКАРНОГО, КОНДИТЕРСКОГО И МАКАРОННОГО ТЕСТА

Янаков В.П., канд. техн. наук, старший преподаватель
Таврический государственный агротехнологический университет, г. Мелитополь.

Дан комплексный анализ конструктивного совершенствования тестомесильных машин. Проведены исследования факторов влияющих на реализацию процессов, реализуемых при замесе хлебопекарного, кондитерского и макаронного теста. Рассмотрена взаимосвязь критериев и безразмерные комплексы геометрического подобия, энергозатрат тестомесильных машин и качествообразующих процессов теста.

The article is providing a comprehensive analysis of structural improvement of kneading machines. Several research investigations were conducted to analyze factors affecting the implementation of the processes implemented by kneading bakery, pastry and pasta. We analyzed connection between the criteria and geometrical similarity simplex, energy spending of kneading machines and processes forming quality.

Ключевые слова — анализ, тесто, критерий, симплекс, процесс, структура, нагрузка.

Постановка проблемы. Формирование качественных показателей выпускаемого хлебопекарного, кондитерского и макаронного теста проводится тестомесильной машиной. Значительные колебания в достижении уровня энергозатрат и технологически обоснованной степени качествообразующих процессов при реализации замеса теста, определяют направленность совершенствования данного класса пищевой техники [1]. Практическое применение тестомесильных машин направленно на выполнение технологических операций — замеса и обминки теста. Узкая специализация и существенные отклонения в передаче энергии перемешиваемому сырью дают возможность пересмотреть существующие подходы и определить новые подходы в формировании более эффективных и менее энергоёмких тестомесильных машин. Развитие данного класса пищевой техники основано на объединении в единую теорию тестомесильных машин. Она основана на предпосылке — замес теста осуществляется если перемешиваемому сырью передать энергию через энергопередающие устройства тестомесильных машин. Объединение в единый теоретический анализ тестомесильных машин возможно на основании проведения комплексных исследований критериев и безразмерных комплексов геометрического подобия, энергозатрат тестомесильных машин и качествообразующих процессов теста, формирующихся в период замеса теста. Осуществление комплексного анализа конструктивного совершенствования тестомесильных машин, основывается на возможности изменения:

1. структуры и качественного исполнения тестомесильных машин;
2. энергетического и теплового воздействия на тесто при реализации технологических операций замеса и обминки теста.

Возможность свести различные подходы в реализации технологической операции замеса теста в единое определяется характером взаимодействия рецептурных составляющих теста и возможностью воздействия на тесто энергопередающих устройств тестомесильных машин.

Цель статьи (задачи). Целью статьи является — установление возможности комплексного подхода в анализе и определении направлений совершенствования тестомесильных машин. В целях снижения уровня энергозатрат и повешения степени качествообразующих процессов выделены параметры, значительно оказывающие влияние на ход осуществления процессов, реализуемых в при замесе хлебопекарного, кондитерского и макаронного теста. Применение подхода основанного на применении основных критериев и безразмерных комплексов геометрического подобия разрешает предельно эффективно исполнить структурный и качественный потенциал энергетического воздействия на рецептурные характеристики теста, а также качествообразующие процессы в тесте.

Основная часть. Основными процессами, которыми можно охарактеризовать технологическую операцию замеса теста, являются процессы передачи энергии перемешиваемому сырью энергопередающих устройств тестомесильных машин и качествообразующие процессы теста. Обоснование и выбор тестомесильных машин определяется на основании уровня энергозатрат и возможности задания точной передачи энергии перемешиваемому сырью [1]. Проблема комплексного проектирования и эксплуатации тестомесильных машин основана на контроле и варьировании следующих технологических показателей:

1. затрат энергии тестомесильными машинами в период реализации процессов перемешивания и сопутствующих процессов;
2. контроле качествообразующих процессов теста, формирующих переход затраченной энергии в качественные показатели теста.

Выделенные энергетические показатели тестомесильных машин устанавливаются в двух направлениях – суммарные затраты мощности на привод тестомесильной машины N и удельные затраты работы $A_{уд}$. Таким образом возможно осуществлять управление ходом технологической операции замеса теста. Они определяются [1] по формулам

$$N = \frac{An}{\eta_1 \eta_2} \quad (1)$$

$$A_{уд} = An\tau / m \quad (2)$$

Качествообразующие процессы теста, формируют переход затраченной энергии энергопередающих устройств тестомесильных машин в качественные показатели теста. Они задаются следующими показателями и определяются [1] по формулам:

- Кислотность каждой навески теста (K_T) в градусах кислотности.
- Влажность теста (W_T) в процентах.
- Количество сырой клейковины теста (K_T), в процентах.
- Содержание сырой клейковины в тесте, выраженное в процентах к массе начального продукта (B_T).
- Количество водорастворимых веществ в тесте (BP_T) в перерасчёте на сухое вещество в процентах.

$$K_T = \frac{V \times 100}{m_1 \times 10} \quad (3)$$

$$W_T = \frac{100(m_T - m_2)}{m_T} \quad (4)$$

$$K_T = \frac{m_k \times 100}{m_n} \quad (5)$$

$$B_T = \frac{m_k \times 100}{10} = 10m_k \quad (6)$$

$$BP_T = \frac{K_c \times 100}{(100 - W_m)} \quad (7)$$

Все формулы, составляющие комплексный анализ конструктивного совершенствования тестомесильных машин, состоят из ряда технических переменных, технологических переменных и постоянных или констант. Полученные составляющие возможно свести в таблицу 1.

Таблица 1 – Технологические, технические переменные и постоянные комплексного анализа конструкций тестомесильных машин

№ п/п	Переменная		Характеристика переменной
	Вид	Название	
1	2	3	4
1.	Техническая	n	число оборотов месильного органа тестомесильной машины, м/с ² ;
2.		d	диаметр рабочей ёмкости тестомесильной машины, м.;
3.		Δp	давление создаваемое месильным органом тестомесильной машины в рабочей ёмкости, Па.;
4.		l	линейный размер потока теста, создаваемый месильным органом тестомесильной машины в рабочей ёмкости, м.;
5.		D	диаметр рабочей ёмкости, м.;
6.		b	ширина лопасти месильного органа тестомесильной машины, м.;

Продолжение таблицы 1

	2	3	4
7.	Техни- ческая	H_0	высота слоя теста в рабочей ёмкости, м.;
8.		A	работа за один оборот месильного органа, Дж/об.;
9.		ρ	плотность теста, кг/м ³ .;
10.		μ	вязкость теста, кг·сек/м ² .;
11.	Технологическая	$d_{\text{ч}}$	диаметр частиц теста, м.;
12.		ρ_1, ρ_2	плотности теста в двух точках потока, месильным органом тестомесильной машины в рабочей ёмкости, кг/м ³ .;
13.		ν	кинематическая вязкость потока теста, создаваемым месильным органом тестомесильной машины в рабочей ёмкости, кг с/м ² .;
14.		c	теплоёмкость потока теста, создаваемым месильным органом тестомесильной машины в рабочей ёмкости, Дж/°C.;
15.		a	температуропроводность потока теста, создаваемым месильным органом тестомесильной машины в рабочей ёмкости, Дж м ² /с.;
16.		α	коэффициент теплоотдачи теста, Вт/(м ² °C).;
17.		λ	теплопроводность потока теста, Дж/°C.;
18.		β	коэффициент объёмного расширения теста, 1/°C.;
19.		Δt	разность температур в слоях теста, ед.;
20.		V	объём раствора гидроокиси натрия концентрацией 0,1 моль/дм ³ (с расчётом поправочного коэффициента по гидроокиси натрия), применённый на титрование, см ³ .;
21.		m_H	масса навески теста, г.;
22.		m_K	масса сырой клейковины теста, г.;
23.		m_1	масса навески теста, г.;
24.		m_2	масса навески теста после высушивания, г.;
25.		m_3	масса навески теста до высушивания, г.;
26.		K_C	количество сухих веществ в тесте, %.;
27.	Постоянные	m, n, k, l	показатели степени, находятся в пределах $m=0,33-0,4$; $n=1,15-1,9$; $k=0,57-0,6$; $l=0,37-0,8$;
28.		$1/10$	коэффициент перерасчёта 0,1 моль/дм ³ раствора на объём теста 1 моль/дм ³ .;
29.		$K_1 - K_{11}$	коэффициенты значимости основных критериев и симплексов геометрического подобия тестомесильных машин, ед.;
30.		η_1, η_2	суммарные коэффициенты полезного действия приводов тестомесильной машины, ед.;
31.		g	ускорение свободного падения, $g=9,81$ м/сек ² .;
32.		C	коэффициент эффективности перемешивания теста $C=0,105-0,25$.

Анализ таблицы 1 технологических, технических переменных и постоянных комплексного анализа конструкций тестомесильных машин даёт возможность прийти к выводу — энергетическое воздействие тестомесильной машины и протекание качествообразующих процессов объединены общими показателями. Их единство даёт взаимосвязь в эффективном энергетическом воздействии тестомесильных машин в период реализации процессов перемешивания и сопутствующих процессов. Из всех факторов, комплексно описывающих конструктивную эволюцию тестомесильных машин выделены параметры [2-8], существенно влияющие на ход реализации процессов, реализуемых в при замесе хлебопекарного, кондитерского и макаронного теста:

1. основные критерии подобия;
2. безразмерные комплексы геометрического подобия;
3. технологические переменные;
4. технические переменные;
5. постоянные или константы.

Анализ критериев и безразмерных комплексов геометрического подобия в оценке совершенствование конструкций тестомесильных машин объединено с изучением и анализом истории формирования данного класса пищевой техники. Разнообразие характера воздействия на перемешиваемое сырьё, методики распределения затрат мощности и реализации процессов перемешивания даёт значительное разнообразие тестомесильных машин. Проведение исследований в оценке совершенствования

конструкций тестомесильных машин позволяет найти достаточное энергетическое воздействие на тесто в период реализации на перемешиваемое сырьё, а также значительно интенсифицировать процессы перемешивания и минимизировать тепловые потери. В целом контроль энергетического воздействия тестомесильных машин E_{Π} и контроль качествообразующих процессов при замесе хлебопекарного, кондитерского и макаронного теста, реализуется [2-8] на основании следующего подхода:

$$E_{\Pi} = \sum_{p=1}^{\infty} K_p \bullet \Gamma_p$$

где, K_p – основные критерии подобия, описывающее конструктивное совершенствование тестомесильных машин;

Γ_p – безразмерные комплексы геометрического подобия, характеризующий масштабное подобие тестомесильных машин.

В общем случае среди способов комплексной оценки энергетических преобразований, происходящих при реализации технологической операции замеса хлебопекарного, кондитерского и макаронного теста, следует выделить оптимизационные подходы. Исполнение инновационных подходов, направленных на совершенствование тестомесильных машин и способов их воздействия на перемешиваемое сырьё, приводит к развитию данного вида пищевой техники. В буквенном и цифровом обозначении приведенные выше основные критерии подобия [2-8] выглядят следующим образом и определяются по формулам:

1. Критерий действия сил трения в подобных потоках теста и который определяет их режим движения Рейнольдса Re_M .
2. Критерий Галилея Ga .
3. Критерий действия сил тяжести в подобных потоках теста, центробежный, Фруда Fr .
4. Критерий действия сил давления в подобных потоках теста Эйлера Eu .
5. Критерий взаимодействия сил вязкого трения и подъёмной силы теста, обусловленной различием плотностей теста в различных потоках теста Архимеда Ar .
6. Критерий физических свойств потока теста Прандтля Pr .
7. Критерий процесса теплообмена между потоком теста и стенкой рабочей ёмкости Нуссельта Nu .
8. Критерий режима движения теста при свободной конвекции Гарсгофа Gr .

$$Re_M = C \bullet Ga^k \left(\frac{\rho_{TB}}{\rho} \right)^l \left(\frac{d_q}{d} \right)^m \left(\frac{D}{d} \right)^n \text{ или } Re_M = \frac{nd^2\rho}{\mu}, \quad (9)$$

$$Ga = \frac{d^3\rho^2g}{\mu} \quad (10)$$

$$Fr = \frac{n^2d}{g} \quad (11)$$

$$Eu_M = \frac{\Delta p}{\rho(nd)^2} \quad (12)$$

$$Ar = \frac{gl^3}{v^2} \bullet \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_2} \quad (13)$$

$$Pr = \frac{c\mu}{\lambda} = \frac{v}{a} \quad (14)$$

$$Nu = \frac{\alpha l}{\lambda} \quad (15)$$

$$Gr = \frac{gl^3}{v^2} \beta \Delta t \quad (16)$$

Анализ формул (9-16) основных критериев подобия даёт возможность комплексно дать оценку работы тестомесильных машин в ходе реализации технологической операции замеса хлебопекарного, кондитерского и макаронного теста. Данный научный подход является эффективным инструментом инноваций в определении направления совершенствования энергопередающих устройств тестомесильных машин. Всесторонний анализ и оценка позволяют не только выделить преимущества применяемых методов энергетического воздействия тестомесильных машин, но и дать оценку недостатков уровня энергетического воздействия тестомесильных машин.

Однако, оценка процессов перемешивания и сопутствующих процессов основными критериями подобия является односторонней и недостаточной. Дальнейшим развитием комплексных исследований

затрат энергии тестомесильных машин явилось применение безразмерные комплексы геометрического подобия. На данный момент [2-8] они делятся:

1. Геометрического подобия Γ_D , характеризующий конструкцию тестомесильной машины.
2. Геометрического подобия Γ_b , характеризующего влияние высоты слоя теста и ширина месильной лопасти тестомесильной машины.
3. Геометрического подобия Γ_H , характеризующего влияние высоты слоя теста и диаметр рабочей ёмкости тестомесильной машины.

$$\Gamma_D = \frac{D}{d} \quad (17)$$

$$\Gamma_b = \frac{b}{d} \quad (18)$$

$$\Gamma_H = \frac{H_0}{d} \quad (19)$$

Анализ формул (17-19) основных безразмерных комплексов геометрического подобия даёт возможность комплексно дать оценку затрат энергии тестомесильных машин в период осуществления замеса хлебопекарного, кондитерского и макаронного теста. Возможность определять характер передачи энергии перемешиваемому сырью при помощи симплексов геометрического подобия и объединить неодинаковые теоретические и экспериментальные взгляды в исполнении технологической операции замеса хлебопекарного, кондитерского и макаронного теста возможно путём соизмерения геометрических размеров различных тестомесильных машин.

При последующем анализе исследований критериев и безразмерных комплексов геометрического подобия в оценке совершенствования конструкций тестомесильных машин была выдвинута научная гипотеза — наиболее совершенной является та тестомесильная машина, которая набирает в сумме наибольшую количество значений основных критериев подобия и безразмерных комплексов геометрического подобия тестомесильных машин при оценке реализации технологической операции замеса хлебопекарного, кондитерского и макаронного теста

$$E_{\Pi} = Re_M + Ga + Fr + Eu + Ar + Pr + Gr + Nu + \Gamma_D + \Gamma_b + \Gamma_H \quad (20)$$

Проведём преобразования представленных формулы 20, подставив их значения из формул (9-19)

$$E_{\Pi} = \frac{nd^2\rho}{\mu} + \frac{d^3\rho^2g}{\mu} + \frac{n^2d}{g} + \frac{\Delta p}{\rho(nd)^2} + \frac{gl^3}{v^2} \cdot \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_2} + \frac{v}{a} + \frac{al}{\lambda} + \frac{gl^3}{v^2} \beta \Delta t + \frac{D}{d} + \frac{b}{d} + \frac{H_0}{d} \quad (21)$$

Выразим анализ исследований основных критериев подобия и безразмерных комплексов геометрического подобия тестомесильных машин в оценке совершенствования конструкций тестомесильных машин в сторону смещения наименее энергозатратных и эффективных процессов, реализующихся при замесе теста. Выполнение управляемых процессов в тестомесильных машинах позволяет максимально реализовать структурный, рецептурный и качественный потенциал качественных преобразований в хлебопекарном, кондитерском и макаронном тесте. Для корректировки и изучения дальнейшего совершенствования тестомесильных машин введём коэффициенты значимости основных критериев и безразмерных комплексов геометрического подобия тестомесильных машин $K_1, \dots, K_{11}$. Их применение в формуле (21) расчёте и моделировании затрат энергии тестомесильными машинами в период тепловых, массообменных, гидромеханических, механических и смешивающих процессов при замесе теста даёт возможность оптимизировать энергетическое воздействие энергопередающих устройств тестомесильных машин.

$$E_{\Pi} = K_1 \frac{nd^2\rho}{\mu} + K_2 \frac{d^3\rho^2g}{\mu} + K_3 \frac{n^2d}{g} + K_4 \frac{\Delta p}{\rho(nd)^2} + K_5 \frac{gl^3}{v^2} \cdot \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_2} + K_6 \frac{v}{a} + K_7 \frac{al}{\lambda} + K_8 \frac{gl^3}{v^2} \beta \Delta t + K_9 \frac{D}{d} + K_{10} \frac{b}{d} + K_{11} \frac{H_0}{d} \quad (22)$$

Анализ формулы (22) энергетического воздействия тестомесильных машин E_{Π} даёт возможности проводить комплексный анализ конструктивного совершенствования тестомесильных машин. Данный научный подход основан на применении основных критериев подобия K_p и безразмерных комплексов гео-

метрического подобия Гр. Комплексный анализ тестомесильных машин опирается на определение учёта энергетических показателей тестомесильных машин и контроля протекания качествообразующих процессов теста. Рассмотренный комплексный анализ конструктивной совершенствования тестомесильных машин включал формулы:

1. энергетических показателей тестомесильных машин;
2. качествообразующих процессов теста;
3. основных критериев подобия;
4. безразмерных комплексов геометрического подобия.

Объединение разнообразия характера воздействия на перемешиваемое сырьё, методики распределения затрат мощности и реализации процессов перемешивания на основе единого теоретического анализа тестомесильных машин даёт возможность прогнозировать развитие данного вида пищевой техники.

Выводы. Получены результаты исследований и анализа определения направлений совершенствования тестомесильных машин. Взаимосвязь технологических и технических переменных даёт возможность устанавливать эффективность передачи энергии от месильного органа к перемешиваемому сырью:

1. Описаны факторы, комплексно анализирующие конструктивную эволюцию тестомесильных машин.
2. Определены основные критерии подобия и безразмерные комплексы геометрического подобия описывающие конструктивное совершенствование тестомесильных машин
3. Установлены технические переменные, технологические переменные и константы структуры тестомесильных машин.

Литература

1. Янаков В.П. Обоснование параметров и режимов работы тестомесильной машины периодического действия: автореф. дис. на соискание наук. степени канд. техн. наук: спец. 05.18.12. – “Процессы и оборудование пищевых, микробиологических и фармацевтических производств” / В.П. Янаков. – ДонНУЭТ., – 2011. – 20 с.
2. Стабников В.Н. Процессы и аппараты пищевых производств / В.Н. Стабников, В.М. Лысянский, В.Д. Попов – М.: Агропромиздат. 1985. – 512 с.
3. Липатов Н.Н. Процессы и аппараты пищевых производств / Н.Н. Липатов - М.: Экономика. 1987. – 272 с.
4. Пилипенко Н.И. Процессы и аппараты / Н.И. Пилипенко, Л.Ф. Пелевина. – М.: Издательский центр "Академия". 2008. – 336 с.
5. Плановский А.Н. Процессы и аппараты химической технологии / А.Н. Плановский, В.М. Рамм, С.З. Каган – М.: Гос. научн.-техн. изд-во хим. Лит-ры. – М.: 1962. – 848 с.
6. Смесительные машины в хлебопекарной и кондитерской промышленности / [А.Т. Лисовенко, И.Н. Литовченко, И.В. Зирнис и др.]; под ред. А.Т. Лисовенко - К.: Урожай. 1990. – 192 с.
7. Процеси і апарати харчових виробництв / под ред. І.Ф. Малєжика. – К.: НУХТ. 2003. – 400 с.
8. Кавецкий Г.Д. Процессы и аппараты пищевых производств / Г.Д. Кавецкий, Королев А.В. – М.: Агропромиздат, 1991. – 432 с.