

4. Жавнер В.Л., Павлова Г.В. Тенденции механизации и автоматизации погрузочно-разгрузочных работ с помощью промышленных роботов и манипуляторов в мясной промышленности. Обзорная информация. – М.: АгроНИИТЭИ мясомолпром, 1989. – 36 с.
5. Жалнерович Е.А., Маршак Л.Е. Функциональная структура и организация разработок комплексно-автоматизированных систем, использующих промышленных роботов. – Минск: БелНИИНТИ, 1980. – 82 с.
6. Лемперт Л.П., Михайлов Л.М. Автоматизация производственных процессов в мясной промышленности. – М.: Пищ. пром-сть, 1977. – 155 с.
7. Леонтьев В.И. Оборудование мясной промышленности за рубежом М.: –1970. –70с.
8. Ощипок І.М. Про застосування промислових роботів і маніпуляторів на технологічних операціях харчових підприємств. //Сільський господар. – № 5-6, 1998. – С.10–11.
9. Ощипок І.М., Береза І.Г. Застосування роботів в технологічних процесах переробки м'яса і молока. SIET-10. //Сучасні інформаційні та енергозберігаючі технології життєзабезпечення людини /Вип. 10. – К., 2001. – С.175-179.
10. Bejczy A.K. Robot Arm Dynamics and Control Technical Memo 33-669 Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, Calif., 1974.
11. Kane T.R. Levinson D.A. The use of Kane's dynamical equations in robotics // The Intern. Journ. of robotics research, 1983. V.2, № 3. – P.52-56.
12. Lee C.S., G., Lee B.H., Nigam R. Development of the Generalized d'Alambert Equations of Motion for Mechanical Manipulators. Proc. 2nd Conf. Decision and Control. San Antonio, Tex., 1983. – P.1205-1210.

УДК.664.64.014.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАМЕСА ТЕСТА В СОВРЕМЕННЫХ ТЕСТОМЕСИЛЬНЫХ МАШИНАХ

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

*Аннотация – определены направления совершенствования тестомесильного оборудования хлебопекарного производства и процессов перемешивания при замесе теста. Предложены пути модернизации современного тестомесильного оборудования в ориентации на оптимизацию энергетического воздействия при контроле качественных показателей изменения теста.*

*Annotation - identified directions to improve dough mixing equipment at baking production lines and directions to improve dough mixing process. We intended to offer solutions to modernize dough mixing equipment focusing on energy efficiency through controlling quality of dough mixing indicators.*

**Ключевые слова:** процесс, оборудование, производство, исследование, моделирование, оптимизация, энергоэффективность.

**Постановка проблемы.** Исследованиями кафедры оборудования пищевых и перерабатывающих производств ТГАТУ эффективности процессов перемешивания хлебопекарного теста (ЭППХТ) тестомесильных машин была установлена, низкая результативность, широкое варьирование достигаемых качественных показателей замеса теста современных тестомесильных машин [1,2]. Данные отклонения контролируемых параметров наблюдаются у большинства современных тестомесильных машин: ТММ-1М, МТМ-15, МБТМ-140, Прима-300, Г7-ТЗМ-63 и др. Независимо от технологического назначения, используемого сырья, их объединяет одинаковая кинематическая схема: электродвигатель, клиноременная передача, блок управления, месильный орган. Величина диапазона изменения рецептурных и технологических норм устанавливается, при работе оборудования с продуктом. В качестве (ЭППХТ) тестомесильных машин были приняты:

1.  $N_{\max}$  максимальная затрачиваемая мощность;
2.  $\tau$  время замеса теста;
3.  $A$  совершаемая работа за данный период;
4.  $\rho_T$  равномерность замешенного теста;
5.  $t_K$  температура нагрева теста в конце технологической операции.

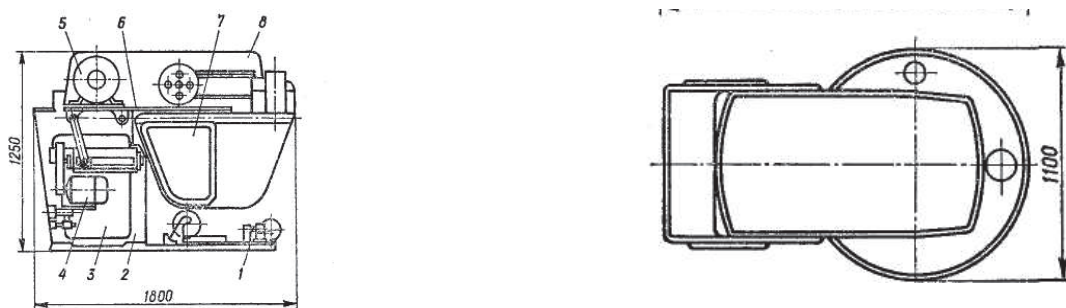
Общее количество контролируемых и анализируемых показателей достигало 100. Они охватывают весь спектр технологических, энергетических и экономических изменений, происходящих при данной технологической операции.

Границы сферы изменения качественных и энергетических показателей, серийно выпускаемых современных тестомесильных машин определяются рядом факторов: влиянием конструктивных и технологических недостатков, ухудшением (ЭППХТ) в процессе эксплуатации, связанных с износом оборудования и рядом других факторов.

Наиболее эффективным способом улучшения (ЭППХТ) тестомесильных машин является усовершенствование их конструкции на стадии проектирования новой машины, либо её модернизации. Целесообразно заложить в конструкцию машины такие параметры по (ЭППХТ), чтоб их реализация была достаточной на весь период безотказной работы. Поэтому целесообразно иметь критериальные зависимости между базовыми параметрами тестомесильной машины и её (ЭППХТ). Этот комплексный математический аппарат в технической литературе на данный момент не существует (экономическом, прикладном, физическом, математическом виде) [3].

*Цель статьи (задачи).* Целью работы является установление зависимостей между основными параметрами тестомесильной машины: производительностью  $Q$ , массой теста  $m_m$ , установленной мощностью электродвигателя  $N$  при технологической операции замес теста, эффективностью процессов перемешивания хлебопекарного теста (ЭППХТ).

Интенсификация технологического процесса замеса хлебопекарного теста, повышение его эффективности и улучшение качества теста, является направлением исследований. В суточном рационе населения хлеб и хлебобулочные продукты занимают значительное место. Совершенствование технологических процессов пищевых производств определяет качественный уровень развития пищевого машиностроения. Исследование современных тестомесильных машин и процессов перемешивания хлебопекарного теста, выявило устойчивые и прогнозируемые тенденции их развития. На рисунке 1 и таблице 1 представлена одна из современных тестомесильных машин, наиболее широко распространённая на территории Украины в хлебопекарном производстве [4].



1 – фундаментная плита; 2 – станина; 3 – щит электрооборудования; 4 – привод поворота траверсы; 5 – привод месильного органа; 6 – траверса; 7 – месильный орган; 8 – ограждение.

Рис. 1 – Тестомесильная машина А2-ХТБ

Таблица 1 – Техническая характеристика тестомесильной машины

Фирма — производитель (страна)	Марка тестомесильной машины	$Q$ кг/кг	Объём дежи, $m^3$	Масса дежи, кг	$N$ привода/ траверсы Вт	Частота вращения де- жи/лопасти, $мин^{-1}$	Габаритные размеры ( $D_1 \times D_2 \times D_3$ ), мм	Масса, кг
ПО Смела Маш.завод (Украина)	A2-ХТБ	475	0,330	120	6,0	6,3/(60)	1800×1100 ×1250	700

где,  $Q$  — производительность тестомесильной машины, кг/год;

$N$  — мощность привода месильного органа, траверсы тестомесильной машины кВт;

$D_1, D_2, D_3$  — габаритные размеры тестомесильной машины, соответственно ширина, высота, длина, мм.

Анализируя рисунок 1 и таблицу 1 возможно чётко определить границы совершенствования современных тестомесильных машин: увеличение производительности, рост мощности привода месильного

органа и уменьшение габаритных размеров оборудования. При этом существенным недостатком данного подхода является отсутствие возможности корректировки энергетического воздействия с поправкой на качественные преобразования, происходящие в выпускаемом продукте — тесте.

Поэтому на сегодняшний момент созрела необходимость создания нового поколения тестомесильных машин — оборудования по своим характеристикам и структуре (ЭППХТ), имеющим возможность менять вид, форму и ряд других характеристик энергетического воздействия в ходе выполнения технологической операции. Структура тестомесильной машины и возможность модернизации её под конечные цели технологического процесса хлебопекарного производства обеспечивает качественные показатели выпускаемой продукции — хлеба. Замес теста является качествоформирующей операцией, энергетическая эффективность которой определяет течение качественных преобразований в тесте [5].

В качестве (ЭППХТ) целесообразно отказаться от применения абсолютных показателей энергетического расчёта технологической операции замес теста:

- $\tau$  время замеса теста;
- $\omega$  угловая скорость вращения месильной лопасти;
- $N$  суммарные затраты мощности привода тестомесильной машины;
- $A_s$  работа совершённая над системой месильная ёмкость-тесто.

Рационально перейти на относительные показатели:

Степень смешивания фаз во всем объеме месильной ёмкости тестомесильной машины выражается уравнением

$$I = 1 - \frac{\sum_1^m \frac{\Delta x'}{100 - x} + \sum_1^n \frac{\Delta x''}{x_c}}{m + c} \quad (1)$$

где  $m$  — число проб теста, в которых  $\Delta x' > 0$ ;

$\Delta x'$  — положительные разности концентраций теста в месильной ёмкости тестомесильной машины, определяемые по формуле:

$$\Delta x' = x - x_c \quad (2)$$

$x_c$  — концентрация твердых частиц в тесте при идеальном (полном) смешивании, определяемая по формуле

$$x_c = \frac{100 V_T \rho_T}{V_{ж} \rho_{ж} + V_T \rho_T} \quad (3)$$

$V_T$  — объем распределяемых в основной массе твердых частиц,  $m^3$

$\rho_T, \rho_{ж}$  — плотности соответственно твердых частиц и жидкости в месильной ёмкости,  $kg/m^3$ ;

$V_{ж}$  — объем теста, жидкости, в месильной ёмкости,  $m^3$ ;

$n$  — число проб теста, в которых разности концентраций теста  $\Delta x'' < 0$ ;

$\Delta x''$  — отрицательные разности концентраций теста, определяемые по формуле

$$\Delta x'' = x - x_c \quad (4)$$

Перепад давлений между передней и задней плоскостями месильной лопасти тестомесильной машины выражают через полезную мощность  $N$ , введенную в тесто

$$\Delta p = \frac{N}{V_{сек}} \quad (5)$$

где  $V_{сек}$  — объем перемещаемого теста, который определяется произведением объема теста в тестомесильной машины на кратность циркуляции,  $m^3/c$ ;

$$F = C_2 d_M^2; H = C_3 d_M \quad (6)$$

где  $F$  — площадь поперечного сечения месильной ёмкости,  $m^2$ ;

$H$  — высота уровня теста в месильной ёмкости,  $m$ ;

$m$  — кратность циркуляции месильного органа в месильной ёмкости,  $c^{-1}$ .

3. Модифицированные критерии Эйлера и Рейнольдса [5]

$$Eu_M = \frac{N}{\rho n^3 d_M^5} \quad (7)$$

$$Re = \frac{nd^2\rho}{\mu_{\text{ж}}} \quad (8)$$

где  $\rho$  — плотность теста,  $\text{кг/м}^3$ ;

$\mu_{\text{ж}}$  — вязкость жидкости,  $\text{Па}\cdot\text{с}$ .

4. Вязкость теста в месильной ёмкости, на основании гипотезы Ньютона [6]

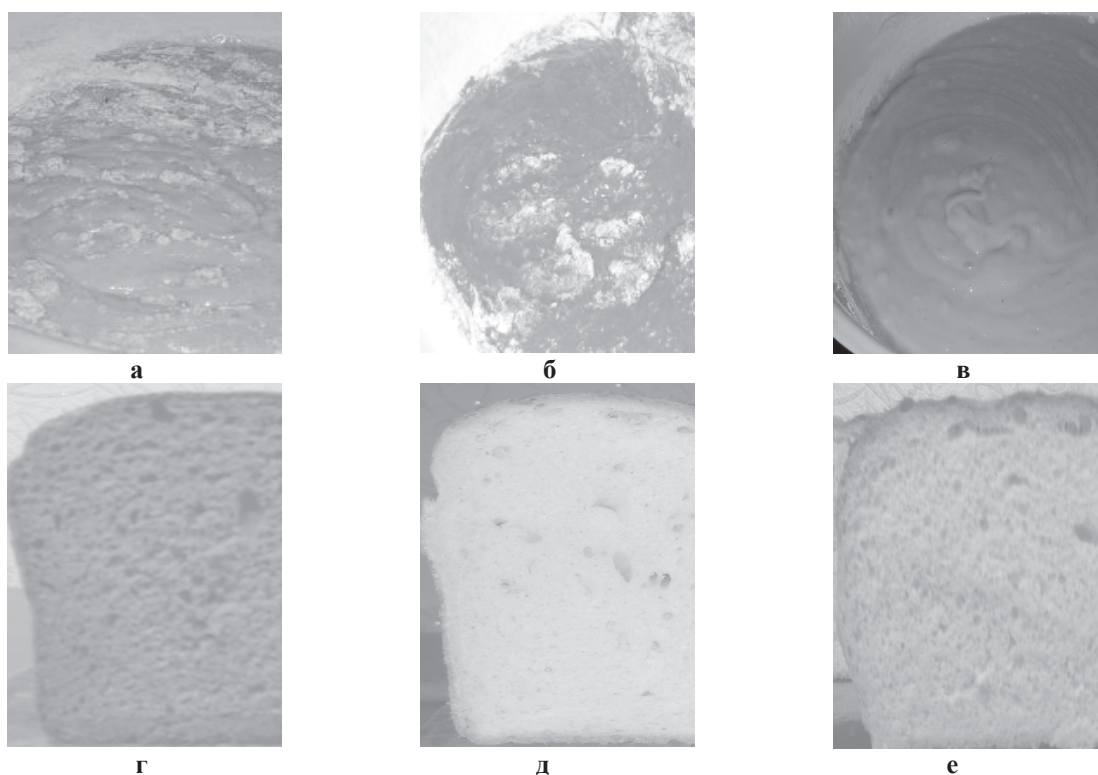
$$\eta = F(D), \text{ или } \eta = \frac{\tau}{f(\tau)} \quad (9)$$

где  $D$  — скорость сдвига в случае простого сдвигового течения,  $\text{м/с}^2$ ;

$\tau$  — касательное напряжение в случае простого сдвигового течения,  $\text{Па}\cdot\text{с}$ .

Детальный анализ уравнений 1-8, определяющих (ЭППХТ) энергетического расчёта технологической операции замес теста, позволяет утверждать, что для практического применения теоретических исследований целесообразно проводить корректировку механического воздействия тестомесильной машины на используемое сырьё в зависимости от достигнутых качественных показателей теста. Дальнейший анализ и расчёт энергетического влияния тестомесильной машины осуществляется в зависимости от поставленных задач в хлебопекарном производстве.

После построения математической модели (ЭППХТ) расчёта технологической операции замес теста, основанной на относительных показателях энергетического воздействия и контроле качественных показателей, становится необходимым применение теоретической базы для расширения количества и качества производимой продукции. Для этого необходимо экспериментально изучить взаимосвязь изменения (ЭППХТ) во всем объеме месильной ёмкости тестомесильной машины с товароведческими, экономическими и технологическими характеристиками. Данный подход представлен на рисунке 2.



*а, б, в – виды теста; г, д, е – ассортимент хлеба.*

**Рис. 2 – Анализ ассортимента производимых хлебопекарных изделий**

Анализ рисунка 2 даёт возможность установить направления усовершенствования энергетического воздействия тестомесильных машин, определение разнообразия характеристик рецептур хлебопекарной продукции. Качественные характеристики (ЭППХТ) дают возможность расширить ассортимент выпуска конечной продукции [1, 2].

Определенна ефективність процесів перемішання хлебопекарного теста (ЭППХТ) тестомесильных машин. Она основана на анализе, обработке и внедрении инноваций в хлебопекарное производство. Что в конечном счёте приводит к расширению потребительских и рецептурных свойств выпускаемой продукции. Точкой отсчёта является такая организация процесса воздействия месильного органа тестомесильных машин, при котором было возможно определять, анализировать и корректировать (ЭППХТ) тестомесильных машин. Данный подход представлен на рисунке 3.



*а – ламинарный режим перемешивания; б – турбулентный режим перемешивания.*

**Рис. 3 – Режимы перемешивания современных тестомесильных машин хлебопекарного теста**

Анализ рисунка 3 даёт возможность установить направления совершенствования процессов перемешивания современных тестомесильных машин. На данный момент в современных тестомесильных машинах широко применяется ламинарный режим перемешивания. Он является низко результативной и малоэффективной системой энергетического воздействия на обрабатываемое сырьё. До 80 % энергозатрат в процессе замеса теста теряются на нагрев дежи, месильного органа и обрабатываемого сырья.

С другой стороны турбулентный режим перемешивания является наилучшей (идеальной) системой энергетического воздействия на обрабатываемое сырьё. Но данный вид воздействия месильного органа на обрабатываемое сырьё является недостижимым для теста, как не ньютоновской вязкой жидкости. При этом он является тем режимом к которому следует стремиться при определении и варьировании режимов (ЭППХТ).

Получение широкого ассортимента выпускаемой продукции, основано на расширении технологических и технических возможностей тестомесильного оборудования повлекшее за собой корректировку технологического процесса замеса теста и всего хлебопекарного производства. Определение разнообразия характеристик рецептур хлебопекарной продукции их качественных характеристик (ЭППХТ) дают возможность расширить ассортимент выпуска конечной продукции.

#### **Выводы**

1. Определены характеристики ЭППХТ современного тестомесильного оборудования с одинаковой кинематической схемой. Они дают возможность оценить тенденции развития данного вида оборудования.

2. Определены относительные показатели, обуславливающие ЭППХТ энергетического расчёта технологической операции замес теста.

3. Получены статистические данные для определения эффективности процессов перемешивания хлебопекарного теста ЭППХТ тестомесильных машин.

Перспективой дальнейших исследований является разработка конструктивных рекомендаций для современных тестомесильных машин с целью улучшения их ЭППХТ.

#### **Литература**

1. Гвоздев О.В. Машины та обладнання хлібопекарського виробництва: Підручник / О.В. Гвоздев, Ф.Ю. Ялпачик, В.О. Олексієнко. – Мелітополь: ТОВ “Видавничий будинок ММД”, 2010. – 312 с.
2. Янаков В.П. Обґрунтування параметрів і режимів роботи тістомісильної машини періодичної дії: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.18.12. – “Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв” / В.П. Янаков. – ДонГУЕТ., – 2011. – 20 с.
3. Янаков В.П. Математичне моделювання процесів замісу тіста / “Інформатика та системні науки” III всеукр. научн.-практ. конф. (г. Полтава 1–3 березня 2012 р.) / Укоопспілка Полтав. ун-т. економ. та торгівлі. Тези доп. 2012. – С. 258-260.



4. Янаков В.П. Аналіз фундаментальних досліджень у технологічній операції заміс тіста / В.П. Янаков Тематич. науч.-техн. сборник. Праці Таврійської держ. агротехн. акад. – Мелітополь.: ТДАТУ. 2012, Вип.12. Т.2. – С.225–233.
5. Стренг Ф. Перемешивание и аппаратура с мешалками / Ф. Стренг – Л.: Химия, 1975. – 236 с.
6. Реология: теория и приложения / под ред. Ф. Эйриха. – М.: Иностранная литература, 1962. – 822 с.

УДК 621.926.22

## ОБҐРУНТУВАННЯ СПОСОБУ ГЕНЕРУВАННЯ РЕЦИКЛУ ГРАНУЛ ПРОЦЕСУ УТВОРЕННЯ ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНИХ КОМПОЗИТИВ

Нагорний О.В., магістрант, Смілян І.О., аспірант, Степанюк А.Р., доц., к.т.н.  
Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”, м. Київ

*Розглянуто та проведено аналіз подрібнюючих апаратів ударної дії. Наведено схему роботи ножової дробарки. Проаналізовано результати розрахунку ножа ротора та визначені умови подрібнення матеріалу у даній дробарці.*

*It was considered and conducted analysis of grindings apparatus of shock action. The chart of work of knife crusher is resulted. The results of calculation of knife of rotor and certain terms of growing of material shallow are analysed in this crusher.*

**Ключові слова:** роторна дробарка, дисмембратор, ступінь подрібнення, ротор, пальці, частинка.

Метою даної роботи є обґрунтування способу подрібнення гранульованих органо-мінеральних композитів для забезпечення рециклу гранул.

Для забезпечення рівномірності постачання корисних речовин в ґрунт необхідно забезпечити рівномірне розподілення органічних і мінеральних речовин у всьому об'ємі гранули та задані фізико-механічні властивості, які відповідають сучасним вимогам сільгоспвиробника. Таких умов можна досягти за рахунок утворення багатошарової структури композиту з кристалічним каркасом, в якому на мікрорівні хаотично розташовані аморфні частинки. Проте під час гранулювання у псевдо зрідженому шарі органо-мінеральних композитів утворення нових центрів грануляції за рахунок внутрішніх механізмів не завжди дає позитивний результат. Тому постає питання додаткового подрібнення спеціальними пристроями. При цьому до подрібнювача висуваються наступні вимоги: простота конструкції, можливість працювати в запиленому середовищі, гранули що необхідно роздробити мають розміри 1,0...4,0 мм, шматки що утворюються повинні у 95 % мати розміри 0,2...1,0 мм. Таким вимогам найближче відповідають дезінтеграторні (дисмембраторні) млини.

Ефективність роботи таких млинів, економічність і діапазон дисперсності, в якому вони дають кращі показники, залежать від багатьох факторів. Серед них важливе значення мають матеріали стінок і тіл, що подрібнюються. Багато що визначає зв'язаний з млином агрегат завантаження і вивантаження подрібненого матеріалу. Дезінтегратори та дисмембратори, в свою чергу поділяються на апарати з горизонтальною та вертикальною віссю обертання диска.

Розглянемо апарати цих типів і їх переваги та недоліки.

Дезінтегратор [1], складається із двох барабанів, які входять один до одного та кожен із яких має власний привідний вал у підшипниках, змонтованих на одній рамі. Барабан складається із диска, на якому по концентричних колах закріплені пальці. В міру віддалення від центра відстань між пальцями зменшується. Диск, у свою чергу, закріплений до маточини, яка сидить на привідному валу. Ряди пальців одного барабана знаходяться між пальцями іншого. Барабани обертаються у протилежних напрямках.

Матеріал, що підлягає подрібненню, надходить через штуцер у центральну частину одного з барабанів і потрапляє між рухомими назустріч один одному пальцями, де і відбувається його подрібнення.

До переваг даного апарату можна віднести високу ступінь подрібнення та відносно меншу швидкість обертання дисків.

Недоліком є швидкий знос елементів дисків, а саме пальців, складна конструкція та високий гідравлічний опір.

Дисмембратор [1] з горизонтальною віссю обертання диска складається з обертового диска із закріпленими на ньому по концентричним колам пальцями, корпусу, відкидної кришки з пальцями і штуцера.