



**saqarwaiois aasawio&osa da aocsooro&os saasoostro**  
MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF GEORGIA  
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ ГРУЗИИ



**sowa ruswaaiois oroasuio saaocsooro fosdo**  
**arasto** AR/201/10-150/12  
SHOTA RUSTAVELI NATIONAL SCIENCE FOUNDATION  
Grant AR/201/10-150/12  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ФОНД ШОТА РУСТАВЕЛИ  
ГРАНТ AR/201/10-150/12



**aaaao worowios saxoiawofo usoaorsototo**  
AKAKI TSERETELI STATE UNIVERSITY  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ АКАКИЯ ЦЕРЕТЕЛИ

**saorwasoroso saaocsooro-pradtoauio**  
**kosforoscoa**  
**fusqcoosaiuro dasossuiobos kaobos**  
**produqtobos waraobos osoaacouro**  
**toqsoioaobo**

**INTERNATIONAL SCIENTIFIC-PRACTICAL**  
**CONFERENCE**  
**INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR PRODUCTION**  
**OF FUNCTIONAL FOODS**

**МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ**  
**КОНФЕРЕНЦИЯ**  
**ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**  
**ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ**  
**ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**quwaoso - KUTAISI - КУТАИСИ**  
**aProio - APRIL - АПРЕЛЬ**  
2015

# **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЕКТНОЙ МОЩНОСТИ ПРИВОДА ТЕСТОМЕСИЛЬНЫХ МАШИН**

**Шпак М., Чепелюк Е.**

**Национальный университет пищевых технологий, Киев, Украина**

*Предложена методика определения силы сопротивления, испытываемой перемешивающим устройством тестомесильных машин, величина которой непосредственно влияет на мощность, потребляемую в процессе замеса. Для тестомесильных машин со штифтовыми месильными органами приведены результаты расчета значения силы сопротивления и ее составляющих - силы вязкого трения и силы давления. Даны рекомендации по выбору диаметра штифтов и частоты вращения штифтового рабочего органа, использование которых обеспечивает минимальный расход энергии.*

При разработке новых тестомесильных машин значительные средства и время расходуются на обоснование параметров конструкции: геометрических (формы, размеров месильных органов) и энергетических (мощности, необходимой для замеса, диссипации



кинетической энергии). Актуальной задачей для проектировщиков является разработка теоретических методов, способных существенно упростить процесс определения основных параметров, необходимых для качественного осуществления замеса теста. Эта задача может быть решена путем математического моделирования процесса замеса теста с использованием программного комплекса FlowVision. В частности, предложена методика определения проектной мощности привода тестомесильных машин.

Объектом исследований является процесс замеса пшеничного дрожжевого теста. Предметом исследований - энергетические затраты на замес.

На сегодняшний день при проектировании нового пищевого оборудования решается комплексная задача - получение качественного продукта при наименьших энергетических затратах. Поэтому при проектировании тестомесильного оборудования важно правильно рассчитать мощность, потребляемую в процессе замешивания теста. На сегодня используются известные зависимости и различные методики расчета, основанные на эмпирических данных. Так, мощность двигателя для перемешивания тестообразных масс может быть определена по формуле 1 или 2.

$$N = \frac{Z_1 F_1 v_1 + Z_2 F_2 v_2 + \dots + Z_n F_n v_n}{V} \quad (1)$$

где  $Z_i$  - количество лопастей данного типа;

$F_i$  - сопротивление, испытываемое одной лопастью,  $N$  (однако сопротивление, которое испытывает лопасть сложной геометрической формы, вычислить сложно);

$v_i$  - скорость движения соответствующей лопасти, м/с;

$V$  - КПД привода.

$$N = \frac{A n}{V} \quad (2)$$

где  $A$  - работа на замес,

$n$  - частота вращения рабочего органа.

Этим методикам присущи значительные погрешности, рассчитанная проектная мощность привода является завышенной, поэтому следует предложить научно обоснованную методику определения этой величины.

Проанализировав конструкции современных тестомесильных машин и различные виды перемешивающих устройств, сделан вывод, что для замеса пшеничного дрожжевого теста целесообразно использовать оборудование с штифтовыми рабочими органами [1].

Хлебное тесто относится к псевдопластическим неньютоновским жидкостям, поэтому для разработки адекватной математической модели, с достаточной точностью описывающей процесс его замеса, следует учесть ряд факторов и свойств, которые являются определяющими. Так, учтено, что вязкость теста  $\tau_{\text{сф}}$  и зависит от градиента скорости сдвига  $\dot{\gamma}$ :  $\tau_{\text{сф}} = \mu_{\text{сф}} \dot{\gamma} - \frac{206}{\dot{\gamma}^n}$ . Полученная

зависимость использована в ходе компьютерного моделирования процесса замеса.

Известно, что на расход энергии на замес существенно зависит от силы сопротивления  $F$  (см. формулу 1). Ее можно выразить через две составляющие: силу сопротивления, обусловленную внутренним трением в массе  $F_v$ , и силу давления  $F_x$  на рабочий орган. Так как вязкость пшеничного теста достаточно велика, ключевую роль при расчете мощности тестомесильных машин играет  $F^{\wedge}$  Сопротивление, испытываемое лопастью, зависит от ее сечения  $S$ , скорости потока  $v$ , плотности продукта  $\rho$  и коэффициента сопротивления  $Z$ , который зависит от формы тела. Силу сопротивления цилиндра (штифта) набегающему потоку определяют по



формуле:

$$F = \frac{\Delta e \phi}{\ln(3.7/Re)} \quad (3)$$

где  $\Delta e \phi$  - вязкость продукта, Па с;

$v$  - скорость потока, м/с.

Теоретически вычислить силу сопротивления для лопастей сложной формы невозможно. Однако в результате моделирования в программном комплексе FlowVision можно определить интегральные характеристики силы сопротивления  $F$  для лопастей любой формы и сечения [2].

Для исследования были выбраны месильные органы цилиндрической формы диаметрами 10, 30 и 50 мм. Скорости набегающего потока и принимались равными 1.5, 10 и 15 м/с, что соответствует линейным скоростям месильных органов промышленных тестомесильных машин. В табл. 1 представлены значения полной силы сопротивления  $F$  и ее составляющих: силы давления  $F_d$  и силы вязкостного сопротивления  $F_v$ .

Таблица 1

Значение силы сопротивления  $F$  и ее составляющих

D, мм	10			30			50		
	v, м/с	1.5	10	15	1.5	10	15	1.5	10
$F$ , Н	25	243	370	54	395	695	78	644	1150
$F^d$ , Н	12	163	287	31	274	520	46	460	870
$F_v$ , Н	13	80	83	23	121	175	32	184	280
$F_v$ , %	50	47	35	40	31	25	40	30	24

В последней строке таблицы приведен процент  $F_v$  в общей величине силы сопротивления. На основе полученных результатов можно утверждать, что с увеличением скорости движения и диаметра месильного органа сила сопротивления значительно возрастает. В графическом виде зависимости представлены на рис. 1-4.

Анализ результатов показывает, что более существенно на величину силы сопротивления влияет изменение скорости, с возрастанием которой сила сопротивления возрастает на порядок, тогда как изменение диаметра увеличивает силу сопротивления примерно втрое.

Следует обратить внимание, что при увеличении скорости потока уменьшается доля сил внутреннего трения (см. рис.4) в результате разрушения части связей между структурными компонентами теста. При диаметре месильного органа 10 мм и скоростях более 10 м/с резко уменьшается доля составляющей  $F_v$  в общей силе сопротивления. Это вызвано образованием на задней стенке цилиндра большой области повышенного градиента скорости, что приводит к отрыву пограничного слоя с поверхности рабочего органа. Уменьшение доли сил сопротивления, вызванных внутренним трением, положительно сказывается на общем балансе сил, так как уменьшается непродуктивный нагрев теста. При этом значительная часть энергии расходуется на образование завихрений, которые способствуют перемешиванию.

Обеспечить наибольшую эффективность работы тестомесильных машин с штифтовыми рабочими органами способно соблюдение определенного соотношения диаметра рабочего органа и скорости его движения. Рекомендуется использовать штифтовые рабочие органы диаметром 20-30 мм при частотах вращения 250...300 об/мин, что соответствует линейной скорости 6,2...7,85 м/с.

Определив величину силы сопротивления, можно обоснованно подходить к расчету мощности привода, необходимой для замеса теста:



$$N = \frac{2n \cdot F \cdot n \cdot r}{V}$$

где  $\wedge$  - сила сопротивления, Н;

$\varepsilon$  - радиус месильного органа, м;

$n$  - частота вращения рабочего органа,  $\text{с}^{-1}$ ;

$\Pi$  - КПД привода.

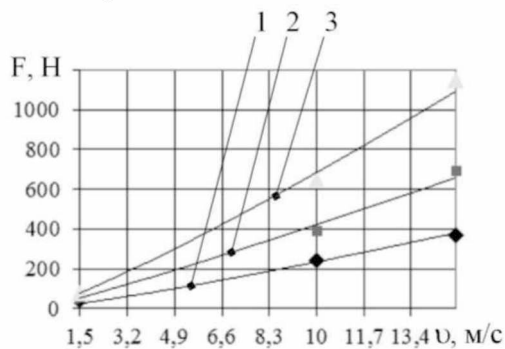


Рис.1. Зависимость силы сопротивления от скорости потока при диаметрах, мм: 1 - 10; 2 - 30; 3 - 50.

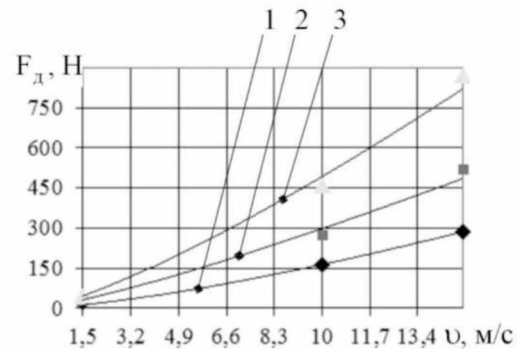


Рис.2. Зависимость составляющей  $F_d$  силы сопротивления от скорости потока при диаметрах, мм: 1 - 10; 2 - 30; 3 - 50.

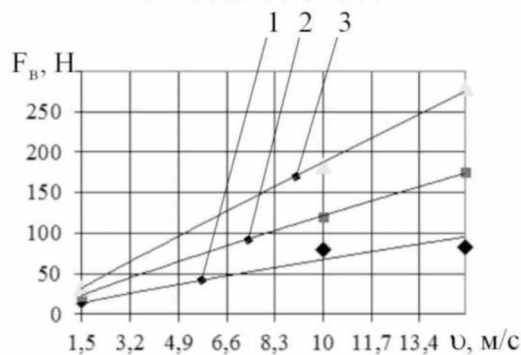


Рис.3. Зависимость составляющей  $F_v$  силы сопротивления от скорости потока при диаметрах, мм: 1 - 10; 2 - 30; 3 - 50.

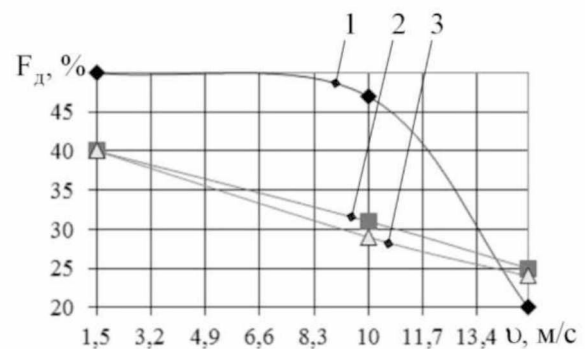


Рис. 4. Доля вязкостной составляющей силы сопротивления от скорости потока при диаметрах, мм: 1 - 10; 2 - 30; 3 - 50.

#### Список использованной литературы

1. Патент 98577 UA, МПК А21С 1/02 (2006.01) Тістомісильна машина / Шпак М. С., Литовченко І. М.; заявник Національний університет харчових технологій. - № а201105303; заявл. 26.04.2011 ; опубл. 25.05.2012, Бюл. № 10. -8с.
2. Применение пакетов прикладных программ при изучении курсов механики жидкости и газа [Текст]: Учебное пособие / Т.В. Кондранин, Б.К. Ткаченко, М.В. Березникова и др. - М.: МФТИ, 2005. - 112 с.

#### DEVELOPMENT OF METHODOLOGY FOR DETERMINING THE DESIGN CAPACITY OF KNEADING MACHINES

Shpak M., Chepelyuk E.

National university of food technology, Kiev, Ukraine

#### Summary

The technique of determining the resistance force experienced by a mixing device of kneading machines was proposed. This quantity directly affects the power consumed in the mixing process. For kneading machines with dowel mixing device the calculated values of the resistance force and its components (viscous forces and pressure forces) are shown. Recommendations on the choice of a dowel diameter and a mixing device rotation speed, the use of which provides a minimum power consumption are given.