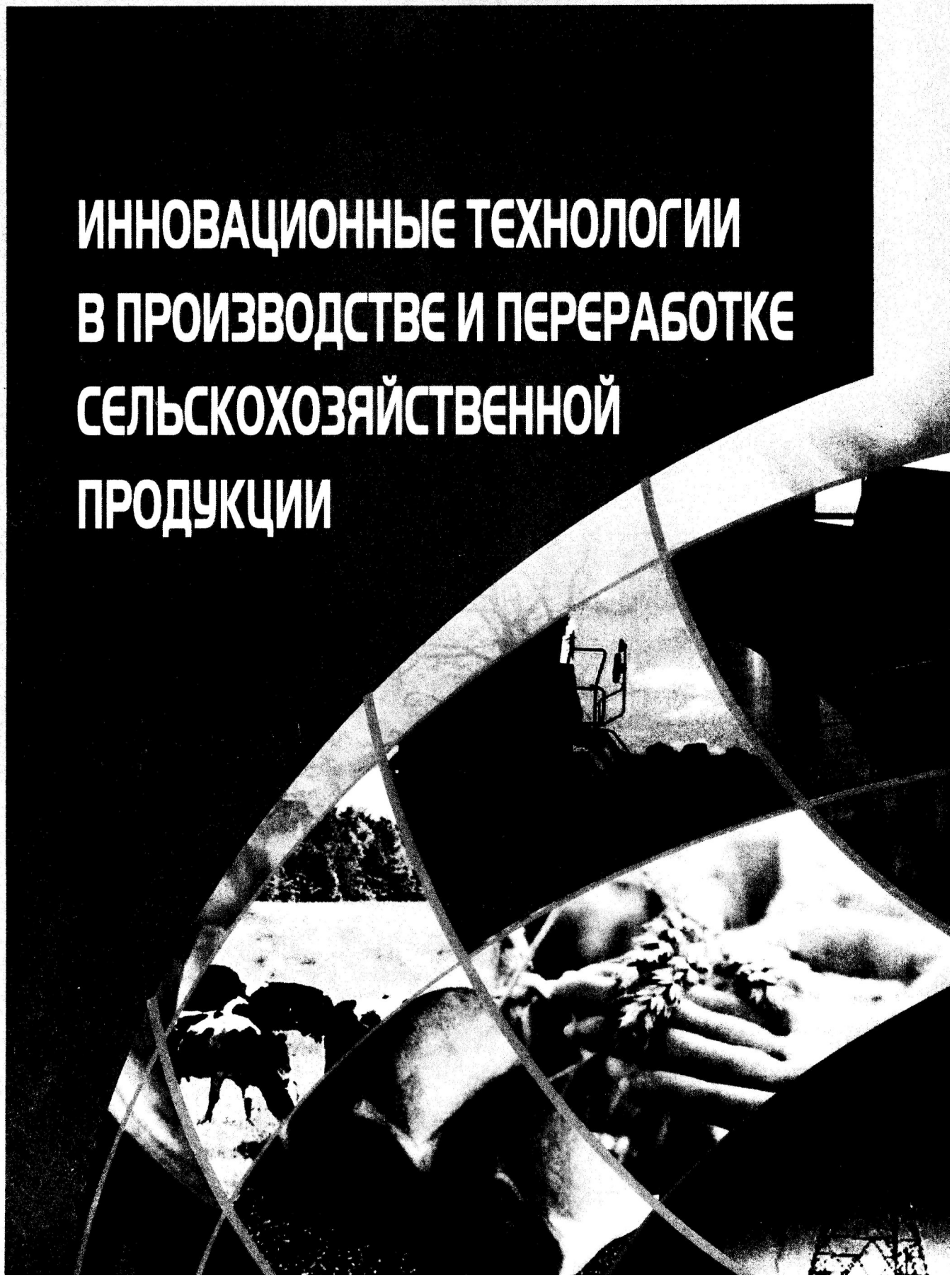
Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь
Белорусский государственный аграрный технический университет

Белорусский республиканский фонд
фундаментальных исследований

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ И ПЕРЕРАБОТКЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

Часть 2



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБЛЯЕМОЙ МОЩНОСТИ ПРИ ЗАМЕСЕ ТЕСТА НА ОСНОВЕ УЧЕТА СИЛ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Литовченко И. Н., Шпак М. С. (Национальный университет пищевых технологий, Киев, Украина), Стефанов С. В. (Университет пищевых технологий, г. Пловдив, Болгария)

Введение

На сегодняшний день в ходе проектирования нового пищевого оборудования стоит комплексная задача – обеспечить получение качественного продукта при наименьших

энергетических затрат. При разработке новых тестомесильных машин значительные средства и время затрачиваются на обоснование показателей конструкции: геометрических (формы и размера месильных органов) и энергетических (мощности, необходимой для замеса, диссипации кинетической энергии). Актуальным заданием для проектировщиков является разработка теоретических методов, способных существенно сократить процесс определения основных параметров, необходимых для качественного осуществления замеса теста. Одним из таких методов есть комплексное математическое моделирование процессов.

Основная часть

Для исследования процесса замеса теста был использован программный пакет для персональных компьютеров «FlowVision». Данный пакет предназначен для моделирования гидродинамических процессов в технических условиях, а также визуализации этих процессов методами компьютерной графики.

Из теории [1] известно, что на мощность замеса существенно влияет сила сопротивления. Ее можно выразить через две составляющие: сила сопротивления, обусловленная внутренним трением в массе, и сила давления на рабочий орган. Так как хлебное тесто относится к неньютоновским высоковязким жидкостям, то ключевую роль при расчете мощности тестомесильных машин играет первая сила.

В общем виде составными силы сопротивления являются [2] скорость потока v, плотность продукта ρ, характерное для каждого тела сечение S и коэффициент сопротивления ζ, который зависит от формы тела.

Часто для замеса теста используют рабочие органы цилиндрической формы. Мы также будем использовать их для моделирования. Известно [3], что силу сопротивления цилиндра набегающему потоку находят по формуле:

$$F = \frac{4 \cdot \pi \cdot \mu \cdot v}{\ln(3.7/\mathrm{Re})}, \text{ Н} \qquad (1)$$

где: μ – вязкость продукта, Па·с; v – скорость потока, м/с; Re – критерий Рейнольдса.

Хлебное тесто относится к неньютоновским жидкостям, вязкость которых переменна и зависит от градиента скорости сдвига γ. В ходе исследований была определена функциональная связь между этими величинами, которая выглядит следующим образом:

$$\mu = \frac{206}{\dot{\gamma}^{0,45}} \qquad (2)$$

Данная зависимость была использована в процессе компьютерного моделирования процесса замеса.

Для исследования были выбраны месильные органы цилиндрической формы, диаметрами 10, 30 и 50 мм. Скорости набегающего потока принимались равными 1,56, 10 и 15 м/с.

После моделирования в программном комплексе «FlowVision» были получены интегральные характеристики силы сопротивления. В таблице представлены значения полной силы сопротивления F и ее составляющих: силы давления $F_д$ и силы вязкостного сопротивления $F_в$.

D,мм	10			30			50		
V, м/с	1,56	10	15	1,56	10	15	1,56	10	15
F, Н	25	243	370	54	395	695	78	644	1150
$F_д$, Н	12	163	287	31	274	520	46	460	870
$F_в$, Н	13	80	83	23	121	175	32	184	280
$F_в$, %	50	47	35	40	31	25	40	30	24

В последней строке таблицы показана процентная доля $F_в$ в общей величине силы сопротивления.

Анализируя полученные результаты, можно утверждать, что с увеличением скорости движения и диаметра месильного органа сила сопротивления значительно возрастает. В графическом виде зависимости представлены на рис. 1…4.

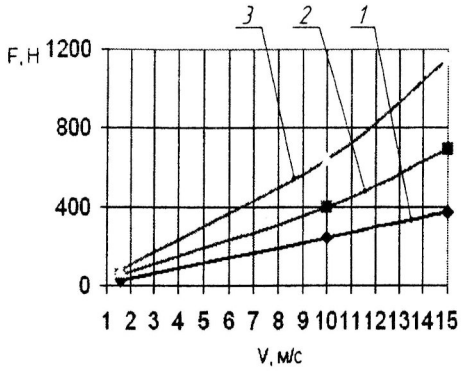


Рисунок 1 – Зависимость силы сопротивления от скорости потока

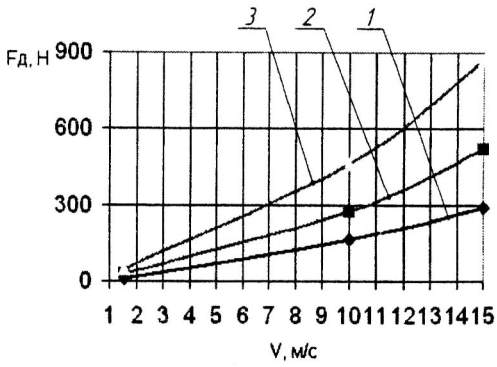


Рисунок 2 – Зависимость составляющей $F_д$ силы сопротивления от скорости потока

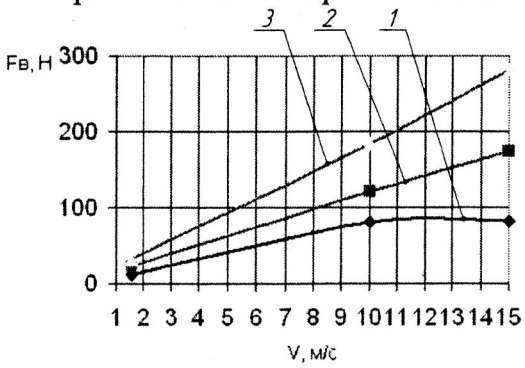


Рисунок 3 – Зависимость составляющей Fв силы сопротивления от скорости потока

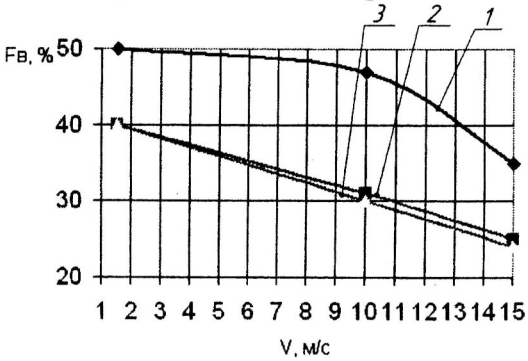


Рисунок 4 – Процентная часть составляющей Fв силы сопротивления в общей величине

Зная величины сил сопротивления, можно обосновано подходить к определению мощности привода, необходимой для замеса теста [1], численное значение которой можно определить по формуле (3):

$$N = \frac{2 \cdot \pi \cdot F \cdot n \cdot r}{\eta}, \ Вт \qquad (3)$$

где F – сила сопротивления, Н; r – радиус месильного органа, м; n – частота вращения рабочего органа, $с^{-1}$; η – КПД привода.

Следует обратить внимание, что при увеличении скорости потока уменьшается доля сил внутреннего трения (рис. 4). При диаметре рабочего органа 10 мм (самом меньшем из исследованных) и скоростях выше 10 м/с характер изменения данной зависимости наиболее заметен, что вызвано образованием на задней стенке цилиндра обширной области повышенного градиента скорости, приводящей к срыву пограничного слоя с поверхности органа.

Анализируя поведение кривых на приведенных графиках, проектант может выбирать различные соотношения размеров рабочих органов и скоростей их движения в зависимости от вида замешиваемого продукта (опары, теста пшеничного, теста ржаного и др.)

Уменьшение доли сил сопротивления, вызванного внутренним трением, положительно сказывается на общем балансе сил, так как уменьшается непродуктивный нагрев теста, и

большая часть энергии расходуется на образование перемешивающих завихрений.

Следовательно, анализ описанных зависимостей дает практическую возможность определять параметры тестомесильных машин, у которых соотношение диаметра рабочего органа и скорости его движения находятся в определенном диапазоне, что обеспечивает наибольшую эффективность работы.

Выводы

Точное определение величины силы сопротивления имеет большое значение при проектировании и постройке самых разнообразных аппаратов и машин в пищевой промышленности.

Использование метода компьютерного моделирования позволяет значительно ускорить процесс разработки нового и модернизации уже существующего оборудования.

Литература

1. Брагинский Л.Н., Бегачев В.И., Барабаш В.М. Перемешивание в жидких средах. – Л.: Химия, 1984, - 335с.

2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Механика сплошных сред. – М.: Гостехиздат, 1954,–788с.

3. Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидромеханика, т.1. – М.: Физматгиз, 1963, – 411с.

УДК 669.01:621.9