

Максимальная микротвердость на поверхности чугунных заготовок, как видно из рисунка 5, наблюдалась при скорости перемещения пятна лазерного луча 900 мм/мин. Общей закономерностью для всех скоростей перемещения луча лазера является уменьшение микротвердости с увеличением глубины зоны лазерного воздействия, что связано с переходом от режима закалки из жидкой фазы к режиму закалки из твердой фазы. По данным полученных результатов проводили корреляционный анализ с использованием программы «Аррохиматор». Для каждой пары факторов рассчитывали коэффициенты парной корреляции по всем возможным вариантам взаимодействий. График парного взаимодействия с наибольшим коэффициентом корреляции представлен на рисунке 6.

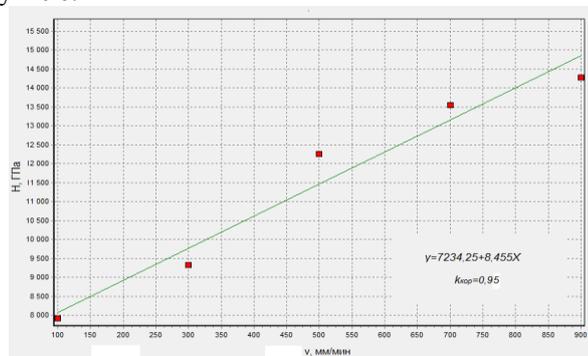


Рисунок 6 - Зависимость скорости движения луча лазера на микротвердость серого СЧ20 чугуна

Между скоростью перемещения луча и микротвердостью серого чугуна наблюдается положительная корреляция - с увеличением скорости движения луча микротвердость увеличивается. Микротвердость хорошо коррелирует со скоростью обработки (коэффициент корреляции 0,95).

**Заключение.** В результате легирования серого чугуна AlN микротвердость повысилась от 2,3 ГПа (исходная структура) до 12...14 ГПа после лазерного легирования, после закалки твердость составляет 5...7 ГПа. Нитрид алюминия растворяется в расплаве чугуна и при охлаждении алюминий легирует матрицу чугуна, повышая прочностные свойства материала и реагируя с железом, образует алюминиды железа. На микротвердость серого чугуна после лазерного легирования оказывают значительное влияние параметры лазерной обработки: с увеличением скорости микротвердость увеличивается. Корреляция между скоростью обработки и микротвердостью составляет 90-95 %.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьянц, А. Г. Основы лазерной обработки материалов / А. Г. Григорьянц. – М.: Машиностроение, 1989. – 304 с. : ил.
2. Девойно, О.Г. Поверхностное упрочнение серого чугуна совмещенной лазерной и ультразвуковой обработкой / О.Г. Девойно, С.Ф. Кукин, Н.В. Спиридонов, О.С. Кобяков, Е.Л. Бузун // Наука и техника. – 2013. – № 2. – С. 3–6.
2. Гилев, В. Г. Лазерное инжекционное легирование аустенитного чугуна ЧН16Д7ГХ титаном / В. Г. Гилев, Е. А. Морозов // Изв. вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2015. – № 3. – С. 44–52.
3. Gilev, V. Laser Quenching Of Axial Bearings In Submersible Multistage Pumps Made Of Steel-Brass Pseudo-Alloy / V. Gilev, E. Morozov, A. Khanov, T. Ablyaz // International Journ. of Applied Engineering Research. – 2015. – Vol. 10, № 20. – P 40861–40868.
4. Mordike, B.L. Improvement of wear properties by laser surface treatment / B. L. Mordike // Proc. 3d Eurohean Cjnf. «Laser Treatment of Materials. ECLAT'90» 2 Vol. Eds. H.W. Bergmann, R/ Kupfer. – Vol. 1. – P. 371-376.
5. Чеканова, Н. Т. Исследование влияния мощного CO<sub>2</sub> - лазера и свойства чугунов, применяемых в автомобилестроении: Дисс. канд. тех. наук. - Завод ВТУЗ при Моск. автом. з-де им. И.А. Лихачева, 1981. – 187 с.
6. Ходаковский, В. М. Особенности лазерного упрочнения чугунных деталей судовых технических средств / В. М. Ходаковский, Е. П. Патенкова // Металлообработка. – 2003. – № 4. – С. 26–29.
7. Сафонов, А. Н. Изучение структуры и твердости поверхности железоуглеродистых сплавов после их оплавления лазерным излучением / А. Н. Сафонов // МиТОМ. – 1999. – № 1. – С. 7–10.

УДК 664, 653

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ТЕСТОМЕСИЛЬНЫХ МАШИНАХ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

канд. техн. наук **И. Н. Литовченко**, канд. техн. наук **М.С. Шнак**, **А.И. Литовченко**, НУХТ, Киев, Украина  
 Национальный университет пищевых технологий, Киев, Украина

*Резюме. В настоящее время еще не существует последовательной теории перемешивания неньютоновской вязкой жидкости, к которой относится хлебное тесто. Одним из способов, который дает возможность качественно "воспроизвести" процесс замеса опары или теста в хлебопекарном производстве является метод компьютерного моделирования. В качестве примера, проанализировано качество замеса теста и*

энергетические параметры процесса на широко распространенных в отрасли тестомесильных машинах периодического действия А2-ХТБ и Л4-ХТБ. Определены области активного перемешивания и расхода энергии.

Ключевые слова: перемешивание, компьютерное моделирование, тестомесильная машина

**Введение.** При разработке новых тестомесильных машин возникает проблема в выборе того или иного месильного органа, частоты вращения лопасти или месильной емкости, продолжительности процесса. Это, в свою очередь, значительно замедляет процесс проектирования нового оборудования, а в некоторых случаях не дает необходимого результата, ведь выбор рабочих органов происходит интуитивно, с помощью практических опытов. В настоящее время еще не существует последовательной теории перемешивания неньютоновской тиксотропной вязкой жидкости, к которой относится хлебное тесто [1]. Одним из способов, который даст возможность качественно "воспроизвести" процесс замеса опары или теста в хлебопекарном производстве является метод компьютерного моделирования. С помощью данного метода мы имеем возможность заранее получить необходимые гидродинамические и энергетические параметры процесса перемешивания вязкой жидкости, что, в свою очередь, дает возможность эффективного проектирования нового тестомесильного оборудования и большую экономию времени и средств.

**Основная часть.** Для исследования процесса замеса теста были использованы программный пакет для персональных компьютеров FlowVision. Данный пакет предназначен для моделирования гидродинамических процессов в технических объектах, а также визуализации этих процессов методами компьютерной графики. В качестве примера проанализируем качество замеса теста и энергетические параметры процесса широко на распространенных в отрасли тестомесильных машинах периодического действия А2-ХТБ и Л4-ХТБ [2].

Используя метод компьютерного моделирования, можно с большой точностью определить направление и скорость движения вязкой массы в месильной емкости, получить значение распределения давления, плотности, концентрации смеси в любой точке данного объема [3, 4].

Еще одним положительным моментом при применении данного метода является возможность определения энергетических параметров процесса перемешивания, что позволяет в дальнейшем выполнить расчет удельной работы замеса и определить необходимую мощность привода [5].

Основными вопросами, которые рассматриваются при анализе процесса перемешивания вязкой жидкости, является интенсивность и эффективность перемешивания. Интенсивность перемешивания определяется количеством энергии, которая вводится в единицу объема массы за единицу времени. Эффективность перемешивания представляет собой характеристику качества процесса, которой, в нашем случае, может служить равномерность замеса. На качество перемешивания большое влияние оказывает возникновение циркуляционных вихрей в области прохождения рабочего органа. Возникновение последних, в свою очередь, является производным от вязкости смеси, геометрии месильных лопастей и скорости движения продукта в емкости. На рисунке 1 показаны зоны распределения вязкости теста в вертикальной плоскости исследуемых тестомесильных машин.

Изолиния	Вязкость, Па·с
1	200
2	170
3	140
4	110
5	80
6	50
7	20

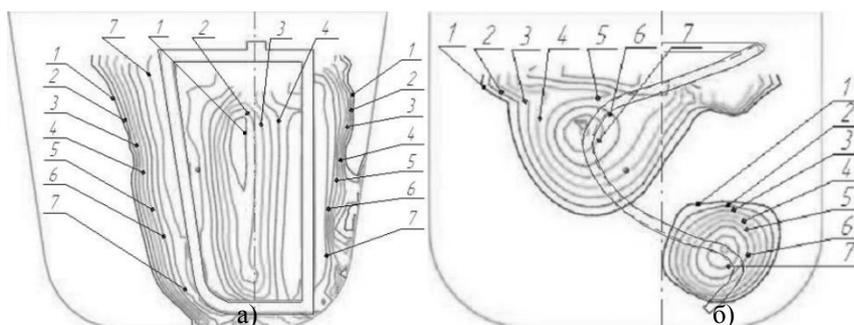


Рисунок 1 – Изолинии вязкости вокруг рабочего органа: а) - А2-ХТБ; б) - Л4-ХТБ

Анализируя картину движения месильных органов в рабочей массе, мы впервые можем увидеть распределение вязкости теста в месильной емкости. Из теории известно, что тесто относится к тиксотропным неньютоновским жидкостям, вязкость которых уменьшается с увеличением градиента скорости деформации. Это подтверждается приведенной картиной. Наименьшие значения вязкости (20 - 30 Па·с) наблюдаются непосредственно у месильных органов, в области движения лопаток. В остальном объеме, вязкость теста значительно возрастает (достигает 200 Па·с и выше), что позволяет определить активную зону перемешивания, то есть зону, в которой возникают благоприятные условия для возникновения циркуляционных вихрей. Размер данной зоны очень важен при расчете удельной работы замеса. Ранее эти параметры могли только предусмотреть, что не предоставляло точности проектным расчетам.

Еще одним методом визуализации полученных результатов являются изоповерхности такой скалярной величины, как вязкость, то есть это трехмерная зона распределения определенного ее значения.

На рисунке 2 показана область распределения вязкости теста в месильной емкости со значением 100 Па·с.

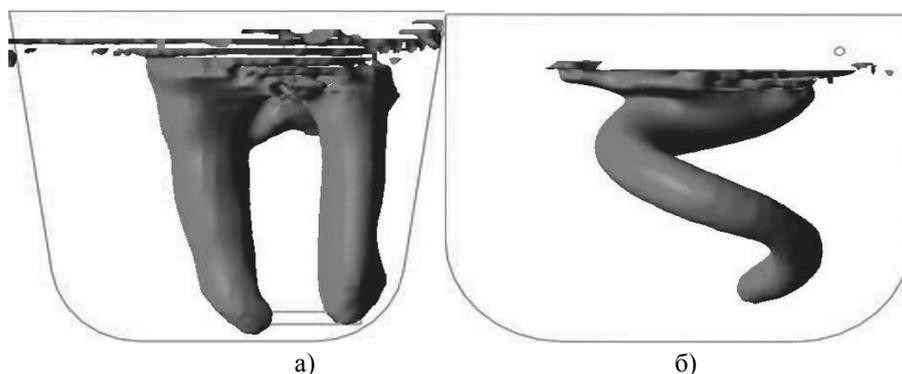


Рисунок 2 – Исоповерхности вязкости вокруг рабочего органа: а) - А2-ХТБ; б) - Л4-ХТБ

Важной характеристикой процесса перемешивания является определение распределения скорости движения продукта в месильной емкости. На рисунках 3 и 4 показаны зоны распределения скорости в вертикальной плоскости сечения.

Изолиния	Скорость, м/с
1	1,7
2	1,4
3	1,2
4	0,9
5	0,6
6	0,3

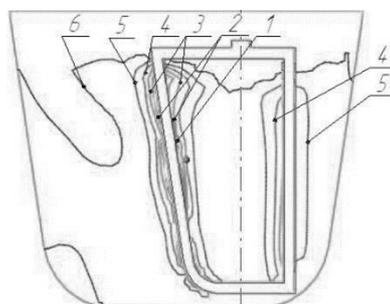


Рисунок 3 – Изолинии скорости вокруг рабочего органа: машины А2-ХТБ

Изолиния	Скорость, м/с
1	1,2
2	1,0
3	0,8
4	0,6
5	0,4
6	0,2

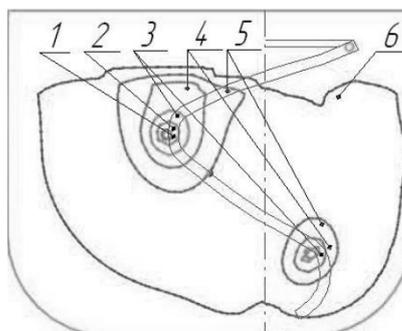


Рисунок 4 – Изолинии скорости вокруг рабочего органа машины Л4-ХТБ

Анализируя картину распределения скорости в месильной емкости, можно утверждать, что наибольшие значения скорости наблюдаются у месильных органов. После анализа исследования картины распределения скорости, можем с уверенностью утверждать, что эффективность работы тестомесильной машины Л4-ХТБ значительно выше, чем у А2-ХТБ, что обусловлено конструктивными параметрами месильных органов.

**Заключение.** Использование метода компьютерного моделирования при конструировании нового эффективного тестомесильного оборудования значительно ускоряет процесс проектирования. С помощью данного метода можно проектировать новое оборудование в значительно более короткие сроки, а также проанализировать работу тестомесильных машин, уже используемых на предприятиях в настоящее время. При моделировании процесса замеса можно установить инерционные и энергетические характеристики процесса в любой точке месильного объема.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками. - Л.: Химия, 1976. 236 с.
2. А.Т. Лисовенко, А.А. Руденко-Грицюк, И.М. Литовченко и др. Технологическое оборудование хлебопекарных и макаронных производств. - Киев: Наукова думка, 2000. - 282 с.

3. Luchian, M.I. Simulation of the mixing bread dough process using computational techniques. / M.I. Luchian, I. Litovchenko, S. Stefanov, I. Mihailov, W. Hadjiiski - Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering. - 2013. Vol. 6, Issue 2, P. 129-134.

4. Luchian, M.I. Modeling of Mixing Bread Dough Process Using Computational Techniques / M.I. Luchian, I. Litovchenko, S. Stefanov, I. Mihailov, W. Hadjiiski - Proceedings of the International Conference "Modern Technologies in The Food Industry-2012 "MTFI – 2012", November, 2012, Chişinău, Republic of Moldova, Vol. I, p. 123-128.

5. Litovchenko, I. Mixer's Design Method with Computer Modeling / I. Litovchenko, M. Shpak, S. Stefanov, W. Hadjiiski - 11 International Conference "Research and Development in Mechanical Industry", September 2011, Sokobanja, Serbia, c. 533-538.

УДК 621.929.7.

## ДИНАМИЧЕСКАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ПОГРЕШНОСТИ ДОЗИРОВАНИЯ ВЯЗКОПЛАСТИЧЕСКОЙ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ ВЕСОВЫМ СПОСОБОМ

*Б.В. Михайлик, д-р техн. наук, профессор А.Н. Гавва, канд. техн. наук, доцент И.М. Литовченко  
Национальный университет пищевых технологий, Киев, Украина*

*Резюме – проведено имитационное исследование процессов, которые возникают во время весового дозирования вязкопластической пищевой продукции в потребительскую тару, с целью определения основных причин возникновения погрешности формирования дозы.*

*Проведенный анализ результатов исследования показывает, что использование подвижного сопла обеспечивает более стабильные изменения показаний тензометрической системы в таре значительной высоты, что позволяет более точно описывать поведение продукции и реализовывать режим наполнения тары.*

*Ключевые слова: вес; дозирование; моделирование; тензометрия; тара, вязкопластический.*

**Введение.** Вследствии развития электроники, а также необходимости изготовления на производстве продукции небольшими партиями с разными размерами упаковки, в пищевой промышленности все шире применяется весовой способ формирования дозы продукции. В случае сыпучих и жидких продуктов уже создано значительное количество такого оборудования. Среди преимуществ весового дозирования выделяют высокую точность дозирования и быструю переналадку оборудования на другой размер тары. Однако его применение при дозировании вязкопластической продукции ограничено, из-за реологических особенностей существенно влияют на погрешность дозы.

Цель исследования - определить факторы и процессы, вызывающие погрешность формирования дозы при использовании весового метода дозирования вязкопластической пищевой продукции в потребительскую тару.

**Основная часть.** Теоретические исследования процесса формирования дозы вязкопластической продукции проводились с помощью имитационного моделирования в программном комплексе FlowVision 2.3.0. В качестве основной модели расчета выбрана «Свободная поверхность», с расчетом уравнений концентрации, скорости и относительного объема жидкости в ячейке. Во всех случаях сопло питателя вставлялось отдельным фильтром, а подача продукции была задана нормальной скоростью. Результаты воздействия на тензометрическую систему получены с помощью дополнительной плоскости проведенной параллельно дну тары на расстоянии 0.5 мм от дна тары, в которой создан слой давления. Полученные данные моделирования записывались в отдельный файл, который в дальнейшем обрабатывался табличным процессором.

При проведении моделирования объектом, с которого формируется доза, выбран плавленный сыр, с такими свойствами: влажность 35%, плотность 1070 кг/м<sup>3</sup>, эффективная вязкость 18 Па/с, жирность 45%.

На первом этапе исследований определено влияние геометрии тары на процесс дозирования. Для исследования принято цилиндрическую тару, объем которой во всех случаях был одинаков – 0,00025 м<sup>3</sup>. Размеры задавались соотношением диаметра тары к диаметру дозирующего сопла (D/d). Диаметр дозирующего сопла принят равным 0,03 м. Предварительно были заданы следующие соотношения (D/d): 4/3, 2/1, 3/1, 4/1.

Производительность современных образцов промышленного оборудования находится в пределах 25-30 доз в минуту, поэтому с учетом технологического процесса время заполнения тары принимаем 1,875 с, следовательно, скорость наполнения 0,1895 м/с.

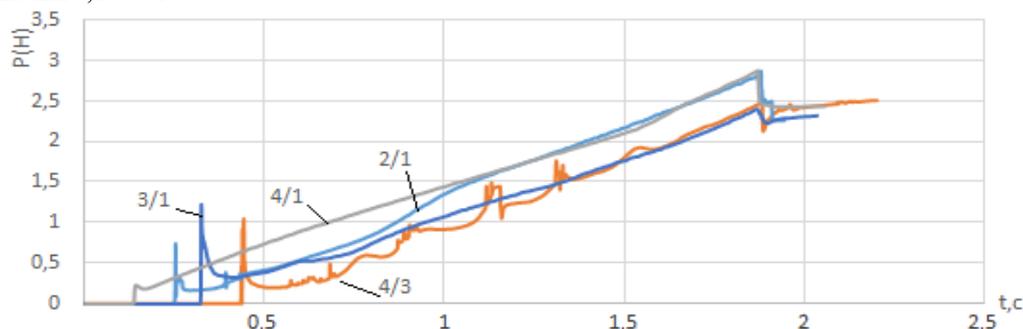


Рисунок 1 – Кинетика формирования дозы при разных значениях D/d: 4/3, 2/1, 3/1, 4/1.