

УДК 664

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕЧЕНИЯ ДРОЖЖЕВОГО ТЕСТА
В РАБОЧЕЙ КАМЕРЕ ЭКСТРУДЕРА**

Теличкун Ю.С., Теличкун В.И., Кравченко А.И.

(Национальный университет пищевых технологий, г. Киев, Украина)

Введение

Для совершенствования теории и методов расчета экструзионного оборудования с целью оптимального конструирования узлов экструзионной техники, для углубления понимания физической сути процесса и определения количественных характеристик процесса экструдирования целесообразно наряду с физическими методами исследований использовать методы математического моделирования. Математическая модель процесса позволяет прогнозировать качество продукта и выбор оптимальных параметров ведения процесса.

Основная часть

Математическое моделирование потока выброженного дрожжевого теста в экструзионном оборудовании сводится к решению следующих задач, отличающихся параметрами процесса, состоянием среды, свойствами: описания течения дрожжевого теста в нагнетательном устройстве, бродильной камере экструдера, в формующих каналах матрицы и описания поведения тестового жгута после выхода из формующего канала.

В первых трех случаях решается задача определения гидродинамических характеристик потока, к которым относятся скорость и гидродинамическое давление. При исследовании поведения тестового жгута после выхода из формующего канала решается внутренняя задача определения параметров потока. Течение дрожжевого теста на всех участках экструзионного оборудования происходит в изотермических условиях.

Рассмотренное течение в разных зонах бродильно-формующего агрегата имеет свои особенности, которые определяются совокупностью начальных и граничных условий и определяются зависимостями между переменными величинами.

Течение в камере брожение происходит под давлением 0.2-0.4 МПа, мы можем рассматривать его как ламинарный установившийся поток несжимаемой жидкости.

Математическая модель включает в себя: уравнения движения Навье - Стокса для вязкой массы [1]:

$$\begin{cases} \frac{\partial P}{\partial x} = \rho X - \rho \frac{dw_x^2}{2dx} + \mu \left(\frac{\partial^2 w_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_x}{\partial z^2} \right) \\ \frac{\partial P}{\partial y} = \rho Y - \rho \frac{dw_y^2}{2dy} + \mu \left(\frac{\partial^2 w_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_y}{\partial z^2} \right) \\ \frac{\partial P}{\partial z} = \rho Z - \rho \frac{dw_z^2}{2dz} + \mu \left(\frac{\partial^2 w_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_z}{\partial z^2} \right) \end{cases}$$

Уравнения сохранения массы или сплошности потока:

$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \frac{\partial(\rho w_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho w_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w_z)}{\partial z} = 0$$

Течение теста в бродильной камере экструдера рассматриваем как установившееся течение $\frac{\partial \rho}{\partial \tau} = 0$, соответственно уравнение неразрывности примет вид:

$$\frac{\partial(\rho w_x)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w_z)}{\partial z} = 0$$

Течение дрожжевого теста в рабочей камере бродильно-формуемого агрегата можем рассматривать как ламинарный поток псевдопластичной жидкости, что подтверждает полученная нами зависимость между напряжением и скоростью сдвига [2]:

$$\tau = (-0.008 \cdot G + 0.83) \cdot \gamma^{0.457}$$

где τ – напряжение сдвига на стенке канала, Н/м²;

G – содержание газовой фазы в тесте, %;

γ – скорость сдвига, с⁻¹.

Эффективную вязкость определим по уравнению, учитывающему содержание газовой фазы в дрожжевом тесте:

$$\eta = (-0.015 \cdot G + 0,89) \cdot \gamma^{-0.543}, \text{ Па} \cdot \text{с}$$

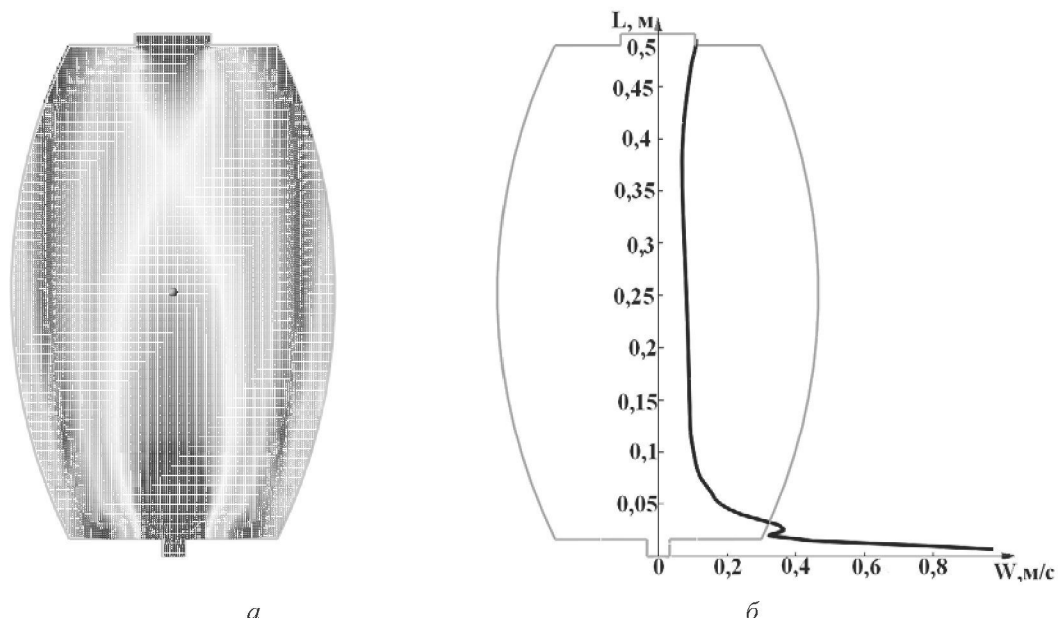
Для расчета представленной математической модели течения теста в бродильной камере нами использован программный комплекс Flow vision. Основной задачей является численное решение уравнения Навье – Стокса и неразрывности.

Расчет течения теста в бродильной камере проводим с целью определения оптимальной формы камеры брожения. Для этого рассмотрели прямоугольную и круглую форму сечения.

Проанализировав все преимущества двух форм, нами была синтезирована овальная форма сечения последовательными коррекциями геометрической формы с расчетом каждого варианта.

Овальная форма сечения сохраняет все преимущества прямоугольной формы – сохранение скорости потока по центру камеры, и олицетворяет положительные стороны круглого сечения рабочей камеры – равномерность потока, уменьшение застойных зон.

Результаты математического моделирования течения теста в рабочей камере овального сечения показывают (рис.1), что скорость в центре по всей высоте камеры сохраняется и зона ускоренного течения намного больше, чем в прямоугольном и круглом сечении.



a – поле скорости течения теста, *б* – график распределения скорости течения теста по высоте рабочей камеры экстрадера

Рисунок 1 – Результаты математического моделирования овального сечения рабочей камеры

Расширение камеры, как и в круглом сечении, отрицательно повлияло на скорость потока по центру, но это влияние незначительно, так как ширина сечения намного меньше и в предматричной зоне имеет место незначительное падение скорости, а затем стремительный ее рост, что обусловлено столкновением основного потока, движущегося по центру и

потоков от стенок.

В рассмотренной камере овального сечения намного меньше застойных зон, хотя и наблюдается некоторое замедление движения вдоль стенок. Эпюры скорости свидетельствуют о равномерном характере движения и, как следствие – равномерном распределении скорости по сечению в предматричной области, значение которой составляет 0,035 м/с.

Течение дрожжевого теста в формующих каналах и на выходе из канала имеет свои особенности, которые определяются неньютоновскими свойствами двухфазной жидкости и будут рассмотрены позже.

Заключение

Математическая модель процесса течения дрожжевого теста в бродильной камере позволила детально исследовать процессы, происходящие в тестовой камере бродильно-формующего агрегата, зависимость характера течения от конфигурации рабочей камеры, предоставить реальные рекомендации по оптимизации конструкции, подбора обоснованной формы рабочей камеры при проектировании бродильно-формующего агрегата.

Литература

1. Товажнянский Л.Л. Процессы и аппараты химической технологии. Учебник. В двух частях. // Л.Л. Товажнянский, А.П. Готлинская, В.А. Лещенко; под ред. Л.Л. Товажнянского. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2004. – 632 с.
 2. Yu. Telichkun, V. Telichkun, V. Taran, O. Gubenia, M. Desik. The research of the gas-filled dough rheological characteristics / EcoAgroTourism. – 2010. – N1. – P. 67-71.
 3. Теличкун Ю. Исследование реологических характеристик дрожжевого теста / Ю. Теличкун, В. Теличкун, В. Таран, Н. Десик.// Научни трудове на УХТ, том 57, свитък 2. – Пловдив – 2010. – С. 645-650.
-