

УДК 532.5:681

Возможности модернизации сатураторов совершенствованием гидродинамических режимов движения потоков

Д-р техн. наук **Алексеев Г.В., Башева Е.П.**

gva2003@rambler.ru

Университет ИТМО

Институт холода и биотехнологий

921002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

В статье рассмотрен новый подход к конструированию аппаратов пищевых производств для газированных напитков на основе использования гидродинамической модели перемещения многофазных потоков неньютоновской жидкости. Приведены аналитические выкладки и результаты эксперимента, свидетельствующие о работоспособности предложенного устройства.

Ключевые слова: газонаполненные напитки, гидродинамическая модель, турбулентные потоки, геометрия кольцевого трубопровода.

Possibilities to modernizations saturatorov improvement hydrodynamic mode motion flow

D.Sc **Alekseev G. V., Basheva E.P.** *gva2003@rambler.ru*

University ITMO

Institute of Refrigeration and Biotechnologies

191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9

New approach is considered In article to construct device food production for fizzes on base of the use to hydrodynamic model of the displacement poliphase flow viscous to liquids. They Are Brought analytical выкладки and results of the experiment, being indicative of capacity to work offered device.

The Keywords: lawn drink, hydrodynamic model, turbulent flows, geometry of the recirculating pipe line.

Современный потребительский рынок требует постоянного обновления и расширения предлагаемых услуг. В пищевых производствах это приводит к постоянному расширению ассортимента и повышению качества продуктов питания. Все это непосредственно относится и к рынку газированных напитков, оборудование для производства которых постоянно совершенствуется.

Одной из важных технических проблем, требующих решения при разработке аппаратов для производства газированных напитков, является обеспечение равномерного распределения газа по объему напитка [1].

Традиционным путем решения таких задач является использование специальных

сатураторов, имеющих различные конструкции [2-4].

Представляет интерес изучение одного из таких устройств работающих по проточному принципу, когда смешение и диспергирование газа и жидкости производится в каналах транспортировки напитка потребителю.

Одна из схем такого сатуратора предусматривает перемещение жидкости с газом и необходимыми вкусовыми добавками по кольцевому каналу, образованному центральной цилиндрической подающей трубой и профилированным внешним корпусом (рис.1)

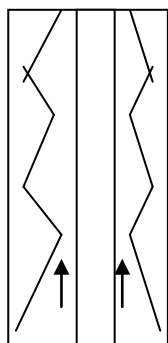


Рисунок 1. Общая схема движения газонаполненного потока неньютоновской жидкости

Для общности выводов рассматривается турбулентный режим течения вязкой несжимаемой жидкости под действием перепада давления в кольцевом канале, образованном неподвижными цилиндрической и сужающейся конической поверхностями (см. рис. 2).

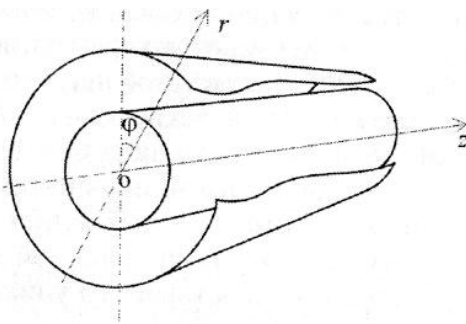


Рисунок 2. Схема канала с разрезом поверхности конуса

В качестве математической модели использовались осредненные по Рейнольдсу уравнения Навье-Стокса. Для замыкания системы уравнений была выбрана двухпараметрическая стандартная $k-\varepsilon$ модель турбулентности, как наиболее развитая на данный момент и приемлемая с точки зрения вычислительных ресурсов. В общем случае

движения изотермического турбулентного потока могут быть записаны в следующем виде:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho v) = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho v}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho v v) = \nabla \cdot P + \rho F, \quad (2)$$

$$\frac{\partial \rho k}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho k v) = \nabla \cdot \left(\frac{\mu_{eff}}{\sigma_k} \nabla k \right) + G - \rho F, \quad (3)$$

$$\frac{\partial \rho \varepsilon}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \varepsilon v) = \nabla \cdot \left(\frac{\mu_{eff}}{\sigma_\varepsilon} \nabla \varepsilon \right) + \frac{\varepsilon}{k} (C_1 G - C_2 \rho \varepsilon). \quad (4)$$

Здесь

$$\mathbb{D} = (-p + \lambda \operatorname{div} v) \mathbf{I} + 2\mu_{eff} \mathbf{E} \quad (5)$$

- тензор полных напряжений турбулентного потока; ρ - плотность среды; \mathbf{F} - вектор плотности массовых сил; k - кинетическая энергия турбулентных пульсаций единицы массы среды; ε - скорость диссипации кинетической энергии турбулентных пульсаций; \mathbf{I} - единичный тензор; p - давление; \mathbf{E} - тензор скоростей деформаций, вычисленный через осредненные компоненты вектора скорости v ; μ_{eff} - эффективный коэффициент турбулентной вязкости, который представляется следующим образом:

$$\mu_{eff} = \mu + \mu_t, \quad (6)$$

где μ - коэффициент «молекулярной вязкости» турбулизованной среды; μ_t - коэффициент турбулентной вязкости или «молярная» вязкость турбулентного потока, представляемый в соответствии с формулой Прандтля-Колмогорова:

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon}; \quad (7)$$

G - диссипативная функция турбулентного потока, которая определяется через обычные сдвиговые компоненты тензора напряжений \mathbf{P} и осредненную скорость v :

$$G = \mathbf{P} \cdot (\nabla v); \quad (8)$$

$$C_1 = 1.44, C_2 = 1.92, C_\mu = 0.09, \sigma_k = 1.0, \sigma_\varepsilon = 1.3, \quad (9)$$

- численные значения параметров k - ε модели.

Граничные условия представляются в следующем виде. На входе в канал задаются однородное распределение скорости, кинетическая энергия турбулентных пульсаций и скорость её диссипации. На цилиндрической поверхности и поверхности конуса компоненты вектора скорости и кинетическая энергия турбулентных пульсаций обращаются в ноль на обеих поверхностях, однако скорость её диссипации отлична от нуля. На выходе из канала задается распределение давления, соответствующее постоянной величине, равное давлению в окружающей среде, а также условие сохранения массы, входящей и выходящей из канала жидкости.

После приведения уравнений (1)-(4) к безразмерному виду, параметры модели определяются следующим образом:

$$\delta = \frac{r_2 - r_1}{l}, \quad \eta = \frac{r_1}{r_2}, \quad Re = \frac{\bar{v}_z(r_2 - r_1)}{\nu}, \quad H = \frac{k_0 \bar{v}_z}{\varepsilon_0 l}, \quad U = \frac{k_0^2}{\nu \varepsilon_0}, \quad \alpha, \quad (10)$$

где $k_0 = \frac{3}{2}(\bar{v}_z I)^2$ и $\varepsilon_0 = \tilde{N}_\mu^{3/4} k_0^{3/2} / l_n$ определяются при заданной интенсивности турбулентности потока I и длины пути перемешивания l_n Прандтля.

Вблизи твердой поверхности падение скорости в приграничном слое обуславливается вязкостью жидкости. Около стенок задается логарифмический закон распределения скорости и выражение для определения скорости диссипации ε .

$$\frac{v_z}{v'} = \frac{1}{k} \left(\ln \frac{E y^+ v'}{\nu} \right), \quad v' = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}}, \quad E = 9, \quad k = 0.4 \quad (11)$$

$$\varepsilon = C_\mu^{3/4} k^{3/4} / y^+ k \quad (12)$$

На основании построенной математической модели проведен компьютерный эксперимент и проанализированы результаты для пространственных турбулентных течений под действием перепада давления в кольцевом канале, образованном цилиндрической и конической поверхностями. В ходе решения задач получены распределенные характеристики турбулентного режима течения жидкости в кольцевом канале под действием перепада давления, установлены основные

свойства пространственных течений, определены индивидуальные свойства математической модели, указаны области их применения.

В работе [5-7] проведен сравнительный анализ результатов расчетов, полученных по предложенной математической модели с имеющимися экспериментальными данными, для которых исследуемая гидродинамическая система имеет геометрическую конфигурацию, зависящую от перепада давления. На рис. 3 представлен график зависимости угла раскрытия конуса от перепада давления. Данные графики построены на основании экспериментальных данных, полученных в результате исследования уплотнительных систем с четырьмя различными значениями ширины зазора на входе.

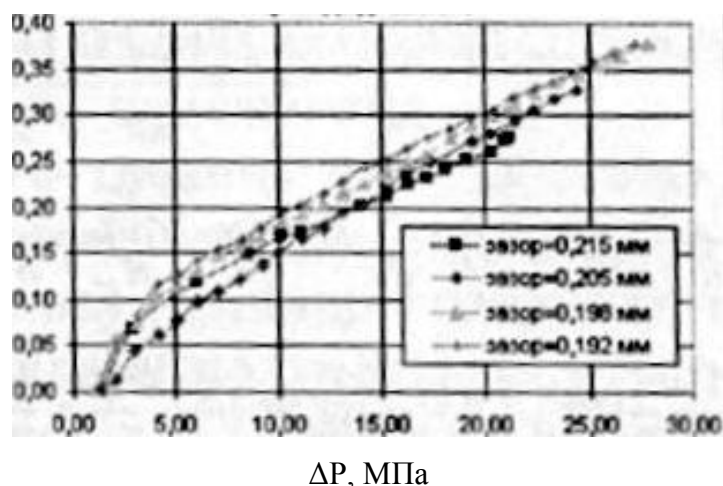


Рисунок 3. Зависимость угла раскрытия конуса от заданного перепада давления

Близость экспериментальных и теоретических значений параметров геометрии трубопровода свидетельствует об адекватности принятой модели и возможности ее использования для практического конструирования аппаратов газирования напитков и расширения их ассортимента, в том числе получением газированного «смузи».

Список литературы

1. Алексеев Г.В., Головацкий Г.А., Краснов И.В. НЕКОТОРЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ПИЩЕВОГО СЫРЬЯ. Известия Санкт-Петербургского государственного университета низкотемпературных и пищевых технологий. 2007. № 3. С. 52.
2. Алексеев Г.В., Башева Е.П. Моделирование взаимодействия потоков пищевой

смеси с элементами рабочей камеры аппарата // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2013. №1.

3. **МАРКОВ А.А. РАЗРАБОТКА И НАУЧНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ ПРОЦЕССОВ НАСЫЩЕНИЯ ВОДЫ КИСЛОРОДОМ**, Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, Воронеж, 2013

4. **Алексеев Г.В., Вороненко Б. А., Лукин Н. И.. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ПИЩЕВОЙ ИНЖЕНЕРИИ**. Учебное пособие для студентов, обучающихся по специальностям и профилям бакалавриата "Пищевая инженерия" и "Машины и аппараты пищевой промышленности" / Санкт-Петербург, 2012.

5. **Ерофеев И.В. Математическое моделирование турбулентных потоков в кольцевых щелевых каналах переменного поперечного сечения**. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата наук, Воронеж, 2011

6. **Алексеев Г.В., Хрушкова Е.Н., Красильников В.Н. ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕМБРАННЫХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКТОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ** // Вестник Международной академии холода. 2010. № 3. С. 32-37.

7. **Алексеев Г.В., Даниленко Е.А. ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПИЩЕВЫХ ДОБАВОК ДЛЯ ПРОДУКТОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПИТАНИЯ** // Вестник Международной академии холода. 2011. № 2. С. 16-18.

Literatura.