УДК 67.05

Возможности моделирования механизма самоочистки аппарата газированных напитков с наполнителем

Д-р техн. наук **Г. В. АЛЕКСЕЕВ, Е. П. БАШЕВА**
piapp.kafedra@irbt-itmo.ru
Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет ИТМО
Институт холода и биотехнологий
191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

Современные предпочтения потребителя все больше связаны не только с качеством, но и ассортиментом предлагаемых продуктов питания. В зависимости от сезонности эти требования так или иначе сказываются на ассортименте предлагаемых потребителю напитков. Наиболее часто эти требования увязываются с визуализацией использованного сырья. Интегрально этим требованиям отвечают «смузи» — напитки с наполнителем, идентификация которого производится непосредственно потребителем в процессе изготовления напитка. При производстве таких напитков с технической точки зрения представляет интерес вопрос о самоочистке рабочей камеры.

Ключевые слова: ассортимент газированных напитков, «смузи», самоочищаемая камера.

Possibilities of modelling a self-cleaning mechanism for flavoured water carbonators

D. Sc. **G. V. ALEKSEEV, E. P. BASHEVA**
piapp.kafedra@irbt-itmo.ru
University ITMO
Institute of Refrigeration and Biotechnologies
191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9

Consumer preferences today are more and more associated with not only the quality but also the assortment of the offered food products. Depending on a season, such demands in any case affect the variety of the drinks available for customers. Most frequently the consumer choice is shaped by visualization of the materials used. The best response to this demand seems to lie in smoothie-like flavouring of soft drinks, when a customer identifies the flavour in the process of making a drink. From the technical viewpoint, self-cleaning of a process chamber is an issue of concern in the production of such beverage.

Keywords: assortment of carbonated drinks, smoothie, self-cleaning chamber.

Конструирование новых технологических устройств для расширения ассортимента напитков предполагает использование результатов анализа механизмов взаимодействия применяемых ингредиентов.

К числу одной из актуальных задач, например, при производстве газированных фруктовых напитков «с мякотью», является самоочистка рабочей камеры для измельчения сырья.

При сатурировании воды с углекислым газом при абсорбции концентрация газа будет напрямую влиять на скорость струи, выходящей из сопла. Чтобы удалить твердые частицы со стенок рабочей камеры (прямолинейной преграды), необходимо произвести расчет силы, действующей струи на эту преграду.

Первоначально идет подача углекислого газа в камеру смешения с водой.

Концентрация углекислотного газа в воде сначала интенсивно растет, затем темп роста значительно падает и при повышении давления подаваемой воды более 0,6 МПа практически не изменяется, исходя из этого, дальнейшее повышение давления приводит к неоправданным затратам энергии (рис. 1).

Параметрические зависимости будут различаться на трех этапах растворения.

Дискретный характер истечения газа в жидкость имеет место при весьма значительных скоростях на срезе одиночного отверстия.

На рис. 2 показаны графики зависимости размера пульсирующего пузыря от скорости истечения и радиуса отверстия, на рис. 3 приведены данные зависимости частоты образования пузырей от радиуса отверстия и скорости истечения газа. Частота уменьшается с уменьшением радиуса отверстия. Истечение газа создает интенсивную циркуляцию жидкости, которая в свою очередь воздействует на всплывающие пузыри. Последние, сливаясь, увеличивают свои размеры и образуют газожидкостные структуры случайной формы [1].

Скорость газовой фазы на выходе в камеру смешения определяется по уравнению

$$\omega_г = \omega_р u_o \frac{1}{m-1}.$$

Значение величины $\varphi_г$ определяется по заданному значению основного геометрического параметра

$$\varphi_г = \frac{m-1}{m},$$

где m — массовый расход углекислого газа и воды в расчетном сечении при заданном значении длины l участка гомогенного потока.

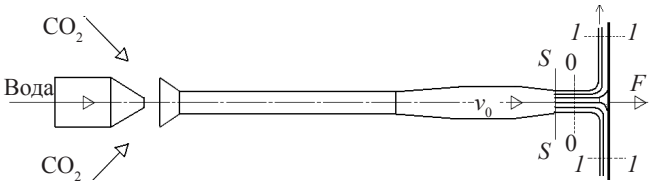

Рис. 1. Принципиальная схема взаимодействия струи со стенкой рабочей камеры

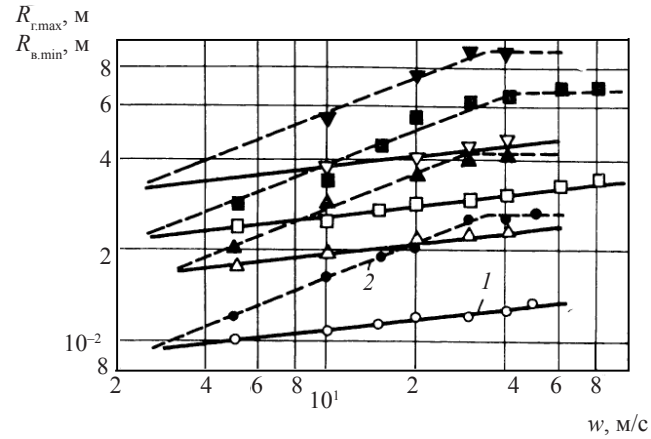

Рис. 2. Размеры пульсирующего пузыря в зависимости от скорости истечения и радиуса отверстия; (сплошные линии — $R_{г\,max}$: ○ — R_1 = 1 мм; Δ — R_1 = 2 мм; □ — R_1 = 3 мм; ▽ — R_1 = 5 мм; штриховые линии — $R_{в.\,min}$: ●– R_1 = 1 мм; ▲ — R_1 = 2 мм; ■ — R_1 = 3 мм; ▼ — R_1 = 5 мм)

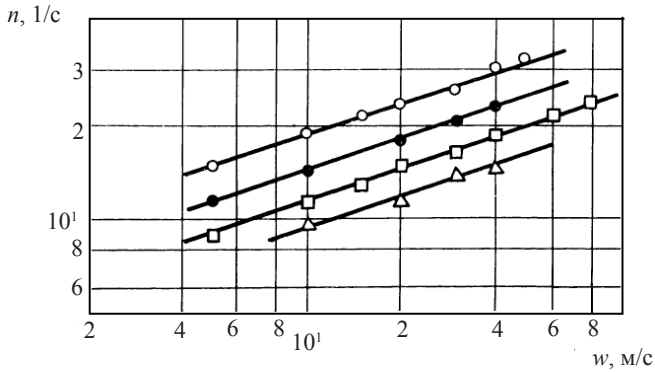

Рис. 3. Зависимость частоты образования пузырей от скорости истечения и радиуса отверстия; (○ — R_1 = 1 мм; ● — R_1 = 2 мм; □ — R_1 = 3 мм; Δ — R_1 = 5 мм)

Сила трения на поверхности раздела фаз, отнесенная к единице длины

$$F = c_f p_г (\omega_р - \omega_г)^2 \pi d_р.$$

Сила трения, отнесенная к единице объема

$$F = c_f p_г (\omega_р - \omega_г)(1 - \varphi)^{0,5}/R_k.$$

Объемный коэффициент массопередачи можно определить по коэффициенту при спутном движении газа и струи рабочей жидкости

$$K_V = 4K\frac{(1-\varphi)^{0,5}}{d_k}.$$

Коэффициент сопротивления c_f при спутном движении жидкостной и газовой струи определяется при числах Рейнолдса Re < $5\cdot10^5$ по формуле Блазиуса

$$c_f = 1{,}328/\sqrt{\mathrm{Re}_z}.$$

Установлено, что наибольшее сжатие струи, в районе которого поток подчиняется условиям плавной изменяемости, наблюдается на расстоянии половины диаметра отверстия от плоскости отверстия [2, 3].

Силу активного давления струи на преграду определяют обычно, применяя теорему об изменении количества движения к объему жидкости, между сечениями 0–0 и 1–1 (см. рис. 1). Примем за ось проекций ось сопла *S–S*. Составим проекцию на эту ось изменения количества движения за время Δt, которая должна быть равна проекции импульса силы за то же время:

$$mc_o\,\Delta t - (m/2)\,c\cos\varepsilon\Delta t - (m/2)\,c\cos\varepsilon\,\Delta t = X\Delta t,$$

где m — масса жидкости, вошедшей в отсек через сечение 0–0 за время Δt.

Принимая $c_o = c$ (потерями энергии на участке потока между сечениями 0–0 и 1–1 можно пренебречь), имеем:

$$X\,\Delta t = mc_o\,(1 - \cos\varepsilon)\,\Delta t.$$

Полагая, что Δt =1с, окончательно получим:

$$X = \rho Qc_o\,(1 - \cos\varepsilon),$$

где Q — расход сопла.

В частном случае, когда $\varepsilon = 90^o$ и $\cos\varepsilon = 0$ (пластинка прямая и перпендикулярная к направлению струи) имеем:

$$X = \rho Qc_o = (\gamma/g)\,\rho Qc_o.$$

Предположим, что площадь сечения сопла равна ω и сопло закрыто плоской пластиной. Тогда давление за эту пластину равно $P = \gamma\,\omega H$, где H — напор над центром тяжести сопла. С другой стороны, $c_o = (2gH)^{0,5}$ (при $\varphi \approx 1$) и $Q = \omega c_o$. В этом случае активное давление X может быть представлено зависимостью:

$$X = (\gamma/g)\,Qc_o = (\gamma/g)\,\omega\,c_o^2 = 2\gamma\,\omega H.$$

Следовательно, активное давление потока на плоскую пластинку в два раза больше того гидростатического давления, которое действовало бы на перекрытое сопло при напоре H, соответствующем скорости c_o.

Мощность равна произведению силы на путь за 1 с $N = Xu = (\gamma/g)\,Q\,(c_o - u)\,u = (\gamma/g)\,Quc_o - (\gamma/g)\,Qu^2$.

Записанное уравнение представляет собой функцию $N = f(u)$ при Q = const и c_o = const. При $u = 0$ (пластинка неподвижна) активное давление будет максимальным, но мощность равна нулю. При $u = c$ активное давление X и мощность равны нулю. Найдем максимум функции $N = f(u)$. Для этого ее первую производную приравняем нулю:

$$(\mathrm{d}N/\mathrm{d}u) = (\gamma/g)\,Qc_o - 2\,(\gamma/g)\,Qu = (\gamma/g)\,Q\,(c_o - 2u) = 0,$$

откуда получаем $u = c_o$

Таким образом, максимальная мощность N_o будет реализована при $u = u_o = c_o/2$. Следовательно, величина кинетической энергии струи, вытекающей из сопла со скоростью c_o равна:

$$(mc_o^2)/2 = (\gamma/2g)\,Q\,c_o^2.$$

Этот результат свидетельствует о том, что энергия взаимодействия струи с пластинкой составит половину энергии, которой обладает струя, вытекающая из сопла.

Тем самым кинетическая энергия струи окажется больше потенциальной энергии смеси.

Поскольку параметры истечения струи существенно зависит от температуры жидкости, геометрических размеров сопла и давления газа, реальные значения энергии взаимодействия струи с преградой влияющие на возможность удаления со стенок рабочей камеры остатков наполнителя должны уточняться в ходе эксперимента.

Полученные результаты могут служить основой для выбора рациональных режимов газонаполнения струй при использовании их как средства самоочистки рабочей камеры.

Список литературы

1. *Кутателадзе С. С., Стырикович М. А.* Гидродинамика газожидкостных систем. Изд. 2-е, перераб. и доп. — М.: Энергия, 1976. 296 с.

2. *Башева Е. П., Алексеев Г. В.* Моделирование взаимодействия потоков пищевой смеси с элементами рабочей камеры аппарата. // Процессы и аппараты пищевых производств. 2013. №2.

3. *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.

References

1. Kutateladze S. S., Styrikovich M. A. *Hydrodynamics of gas-liquid systems*. Moscow: Energy, 1976. 296 p.

2. Basheva E. P., Alekseev G. V. *Processy i apparaty pishhevyh proizvodstv*. 2013. No. 2.

3. Alekseev G. V., Hrushkova E. N, Krasilnikov V. N. *Vestnik Mezdunarodnoj akademii holoda*. 2010. No. 3. pp. 32–37.

Требования к рукописям, представляемым в журнал «Вестник МАХ»

- В начале статьи, слева – УДК;
- после названия статьи – авторы с указанием места работы и контактной информации (e-mail);
- отдельно указываются ключевые слова на русском и английском (не более десяти);
- одновременно со статьей представляется аннотация (References) на русском и английском языках.

  Аннотация должна содержать от 100 до 250 слов (приблизительно 700 печатных знаков). Аннотация должна быть полноценной и информативной, не содержать общих слов, отражать содержание статьи и результаты исследований, строго следовать структуре статьи. Аннотация на английском языке — не калька, она отличается от русского варианта и представляет собой качественный литературный перевод. Таким образом, аннотация позволяет решить, следует ли обращаться к полному тексту статьи. Сведения, содержащиеся в заглавии статьи, не должны повторяться в тексте аннотации. Следует избегать лишних вводных фраз, например, «автор статьи рассматривает...». Исторические справки, если они не составляют основное содержание документа, описание ранее опубликованных работ и общеизвестные положения в аннотации не приводятся. В тексте следует применять значимые слова из статьи, употреблять синтаксические конструкции, свойственные языку научных и технических документов, избегать сложных грамматических конструкций.
- статьи представляются набранными на компьютере в текстовом редакторе Word 97-2007 на одной стороне листа через 1,5 интервала, размер шрифта 14.
- объем статьи не более 12 страниц (формат А4, вертикальный, 210х297 мм; поля: левое - 2 см, правое - 2 см, верхнее – 2 см, нижнее - 2 см;
- иллюстрации представляются на магнитном носителе в следующем формате:растровые - TIFF-CMYK-300 dpi, TIFF-BM-800 dpi, векторные - EPS-CMYK4
- формулы и отдельные символы набираются с использованием редактора формул MathType (Microsoft Equation). (не вставлять формулы из пакетов MathCad и MathLab).
- в статьях необходимо использовать Международную систему единиц (СИ);
- список литературных источников должен быть оформлен по ГОСТу и содержать ссылки только на опубликованные работы. Номера ссылок в тексте должны идти строго по порядку их цитирования и заключаться в квадратные скобки. Ссылки на рукописные работы не допускаются.

Данные об аффилировании авторов (author affiliation).
На отдельной странице и отдельным файлом: — сведения об авторах на русском и английском языках: фамилия, имя, отчество полностью, ученая степень, звания (звания в негосударственных академиях наук и почетные звания не указывать), должности основного места работы (учебы); наименование и почтовые адреса учреждений, в которых работают авторы, e-mail.
Статьи принимаются на магнитном носителе и в печатном экземпляре или высылаются на электронный адрес редакции

vestnikmax@rambler.ru

С аспирантов и студентов плата за публикации не взимается