

## ПИЩЕВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

*Алексеев Геннадий Валентинович*

д-р техн. наук, профессор

*Башева Екатерина Петровна*

аспирант

Институт холода и биотехнологий  
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский национальный  
исследовательский университет информационных  
технологий, механики и оптики»  
г. Санкт-Петербург

### СТРУЙНО-БАРБОТАЖНЫЙ САТУРАТОР ДЛЯ НАСЫЩЕНИЯ БЕЗАЛКОГОЛЬНЫХ НАПИТКОВ ДИОКСИДОМ УГЛЕРОДА

*Аннотация:* в статье изложены результаты проектирования и испытаний сатуратора для производства газированных напитков на основе вторичного пищевого сырья, дополнительно измельченного овощного или фруктового шрота (отходов после получения соков). Обработка экспериментальных данных осуществлялась как традиционными математико-статистическими методами, так и с помощью специальных программ, реализующих подходы нечеткой логики.

*Ключевые слова:* нечеткая логика, вторичное пищевое сырье, расширения ассортимента, дополнительные технические средства, сатуратор.

Переработка пищевого сырья связана с проблемой утилизации отходов. Все чаще вторичное пищевое сырье (отходы) используют для расширения ассортимента пищевых продуктов путем извлечения из него ценных пищевых веществ, которое используется далее для пищевых целей после соответствующей переработки. Для этого часто нужна разработка дополнительных технических средств.

Существенная ресурсоемкость переработки пищевого сырья остро ставит проблемы сокращения его отходов и использования сырья, в том числе вторичного, для расширения ассортимента пищевых продуктов в виде дополнительно извлеченных или обработанных определенным образом ценных пищевых веществ, что одновременно позволяет снизить экологическую нагрузку на окружающую среду.

Решение затронутых вопросов частично возможно созданием новых и совершенствованием известных направлений для переработки вторичного пищевого сырья. Одним из таких направлений является разработка технических средств для получения газированных напитков на основе вторичного пищевого сырья, например, дополнительно измельченного овощного или фруктового шрота и молочной сыворотки.

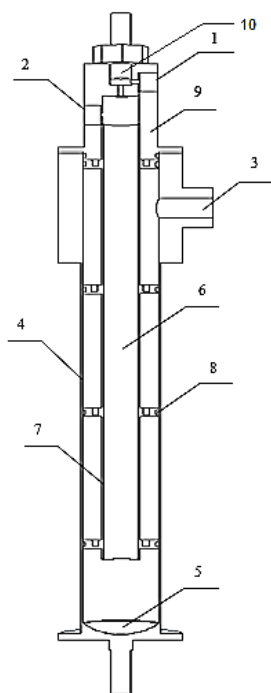


Рис. 1. Сатуратор

1 – отверстие для подачи жидкости; 2 – отверстие для подачи газа; 3 – отверстие для выхода получаемой газожидкостной смеси; 4 – корпус; 5 – отбойный сферический элемент; 6 – камера смешения; 7 – насадочная колонна; 8 – перфорированные кольца; 9 – газовая камера; 10 – инжектор

Сатуратор для насыщения безалкогольных напитков диоксидом углерода включает отверстие для подачи жидкости 1, отверстие для подачи газа 2 и отверстие

3 для выхода получаемой газожидкостной смеси 3 выполненные в корпусе 4. Корпус 4 снабжен отбойным сферическим элементом 5, установленным перпендикулярно оси камеры смешения 6 оси вогнутой частью в сторону выхода газожидкостной смеси из нее [2].

Между камерой смешения 6 и корпусом 4, размещена насадочная колонна 7, выполненная в виде перфорированных колец 8, причем ее внешняя цилиндрическая оболочка совмещена с корпусом 4, на котором установлен инжектор со стороны противоположной отбойному сферическому элементу 5.

Определение концентрации растворенного углекислого газа в напитке осуществлялись с помощью Carbonation Testing Procedure, американского производителя фирмы Carnelius

В процессе проведения экспериментальных исследований по газосодержанию прошедшей сатуратор пищевой жидкости замеряли все важнейшие параметры процесса газонаполнения [3–5].

К ним в первую очередь относятся:

- температура жидкой фазы – 1,5–6,0 [°C];
- давление CO<sub>2</sub> – 2,4–2,8 [мПа]

Полученные результаты представлены в таблице 1.

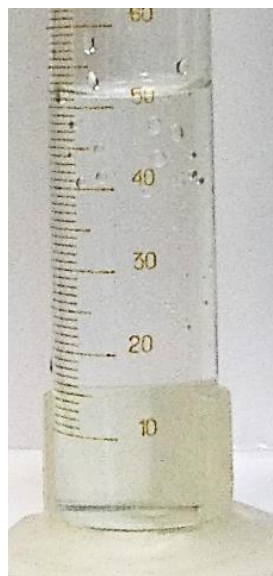


Рис. 2. Образец газированной жидкости для измерения остаточного содержания газа

При определении содержания газа после выдержки в течение 15 и 30 минут измеряли уровень ее в мерной емкости диаметром  $d$ , после чего обрабатывали по следующим формулам [6–8]:

$$G_{\text{ок}} = \frac{Q_{\text{ок}}}{\frac{\pi d^2}{4}(H-h)} = \frac{Q_{\text{нач}} - \frac{\pi d^2}{4}h}{\frac{\pi d^2}{4}(H-h)} = \frac{G_{\text{нач}} \frac{\pi d^2}{4}H - \frac{\pi d^2}{4}h}{\frac{\pi d^2}{4}(H-h)}$$

или, сокращая числитель и знаменатель на  $\frac{\pi d^2}{4}$  и, разделив на  $H$ ,

$$G_{\text{ок}} = \frac{G_{\text{нач}} - \frac{h}{H}}{1 - \frac{h}{H}}$$

Таким образом, окончательное содержание газа определяли по начальной высоте заполнения –  $H$ , оставшемуся уровню –  $h$  и начальному содержанию газа –  $G_{\text{нач}}$

Таблица 1

Газосодержание напитка при струйно-барботажном насыщении

Варьируемые параметры		Сразу после розлива Gs	Через 15 минут Gs15	Через 30 минут Gs30
P	T			
	1,5	5,88	1,32	0,41
	2	5,8	1,10	0,39
	2,5	5,58	0,90	0,37
2,4	3	4,8	0,74	0,36
	3,5	4,28	0,59	0,34
	4	4,05	0,45	0,33
	4,5	3,88	0,3	0,32
	5	3,4	0,26	0,31
	5,5	2,68	0,17	0,30
	6	2,6	0,8	0,29
	1,5	5,95	2,02	0,65
	2	5,9	2,00	0,62
	2,5	5,85	1,98	0,60
2,6	3	5,8	1,96	0,57
	3,5	5,75	1,93	0,54
	4	5,7	1,83	0,49
	4,5	5,65	1,81	0,46
	5	5,6	1,79	0,43
	5,5	5,55	1,78	0,40
	6	5,5	1,70	0,36

	1,5	7,36	1,33	0,58
	2	6,7	1,22	0,52
	2,5	6,06	1,20	0,48
2,8	3	5,45	1,13	0,42
	3,5	4,86	1,02	0,36
	4	4,3	0,99	0,31
	4,5	3,76	0,96	0,26
	5	3,25	0,90	0,20
	5,5	2,76	0,88	0,16
	6	2,3	0,80	0,09

Предварительная обработка результата эксперимента проводилась в пакете программ CurveExpert 1.34, позволявшего аппроксимировать экспериментальные данные аналитическими зависимостями с минимальной погрешностью [9–11].

Пример такой обработки приведен на рисунке 3.

Аналогично обрабатывались все остальные данные, которые для удобства анализа были потом сведены на графиках, построенных по соответствующим уравнениям регрессии и скомпонованных по различным величинам используемого давления (2,4; 2,6; 2,8)

Полученные соотношения графически отображалась в пакете Mathcad.

Результаты обработки приведены ниже на рисунках 4а), 4б), 4в).

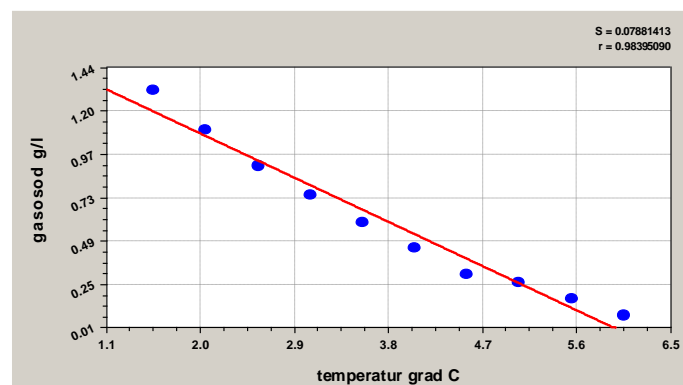


Рис. 3. Газосодержание напитка через 15 минут (давление 2,4 атм)

$$\text{(уравнение регрессии – } Y(x) = 1.62 - 0.27x \text{)}$$

Анализ графиков позволяет сделать вывод о схожем поведении при газовыделении газированных напитков, полученных при разных режимах газонасыщения с течением времени. Все случаи характеризуются линейным законом газовыделения, однако с различными темпами потери газа. В частности, построенные

графики дают возможность определиться с режимами газирования для максимального количества газа сразу после насыщения и по истечении некоторого времени 15 или 30 минут.

Более информативными являются многопараметрические модели, позволяющие оценить изменение целевой функции при одновременном изменении нескольких варьируемых параметров [12–13].

Для лабораторных исследований процесса насыщения лимонного напитка диоксидом углерода в опытно-промышленных условиях на заводе «Торгмаш» (Санкт-Петербург) спроектирована и изготовлена установка, имеющая в своем составе разработанный сатуратор.

С целью получения устойчивого раствора  $\text{CO}_2$  и рационального режима проведения процесса для лабораторных исследований с использованием струйно-барботажного аппарата изучено влияние давления, температуры и геометрических параметров сатуратора на концентрацию  $\text{CO}_2$ , а также потерь  $\text{CO}_2$  от времени выдержки после розлива в реальных производственных условиях [14].

Математическая формализация полученных экспериментальных данных была осуществлена с использованием подходов нечеткой логики, поскольку диапазон варьирования параметров в производственных условиях ограничен и экспериментальных данных было недостаточно для полноценного регрессионного анализа.

В основе этого подхода лежит представление о том, что составляющие данное множество элементы, обладающие общим свойством, могут обладать этим свойством в различной степени и, следовательно, принадлежать к данному множеству с различной степенью.

Для моделирования оценки газосодержания в жидкостях используется модуль Fuzzy Logic Toolbox, входящий в пакет MatLab.

Для представления результатов моделирования в графическом виде, используют модуль Surfase Viewer. Средство просмотра поверхности вывода позволяет строить трехмерную поверхность как зависимость одной из выходных переменных от двух входных.

Предполагалось, что качество полученного продукта зависит от следующих показателей: значение плотности, кислотности, количество белка (ГОСТ Р 53438-2009).

Желаемые диапазоны входных переменных:

- Plotnost (плотность) – 1023–1028 кг/м<sup>3</sup>;
- Kislotnost (кислотность) – 70–75°Т;
- t (температура) – 1,5–6°С;
- p (давление подачи) – 2,4–2,8 Мпа;
- g (газосодержание) – по таблице растворимости – 4,0–5,0 г/л СО<sub>2</sub>.

Перед подачей в устройство наполнительны охладили до температуры 4–6°С. Затем подготовленное сырье обработали в кавитационной установке для обеспечения гомогенности.

Давление подачи для воды соответствовало 2,4 МПа. В этих диапазонах аппарат стабильно подавал рабочую струю на выход.

Плотность и кислотность напитка определяли по ГОСТ 3625-84 и ГОСТ 3624-92 соответственно. Они составили 1023 кг/м<sup>3</sup> и 70 °Т.

Количество белка определялось по ГОСТ Р 53951-2010.

Для визуализации нечеткого логического вывода использовали команду View rules. Данное средство просмотра правил позволяет отобразить процесс нечеткого логического вывода и получить результат.

Для представления результатов моделирования в графическом виде, использовали модуль Surfase Viewer. Средство просмотра поверхности вывода позволяет строить трехмерную поверхность как зависимость одной из выходных переменных от двух входных. Поверхность вывода, соответствующая благоприятному результату, окрашивается в разные цвета. Если результат соответствует некому среднему, промежуточному значению, то на графике эта область окрашивается в цвета градиентного перехода (рис. 4–5).

Практические исследования проводились на экспериментальном оборудовании с помощью того же прибора Carbonation Tester. Вычисление газосодержания проводилось на основе диаграммы растворения диоксида углерода.

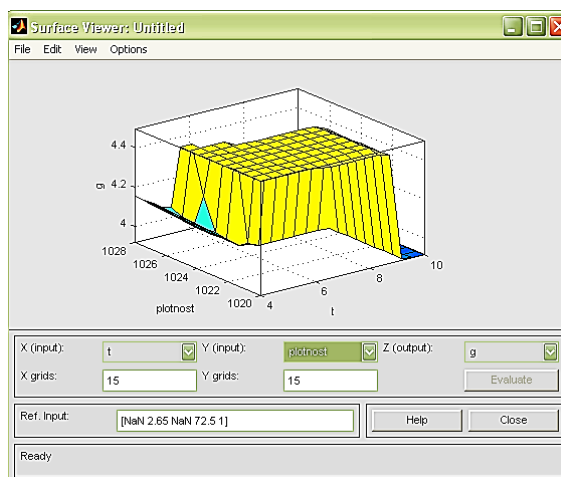


Рис. 4. Зависимость газосодержания от температуры и плотности напитка

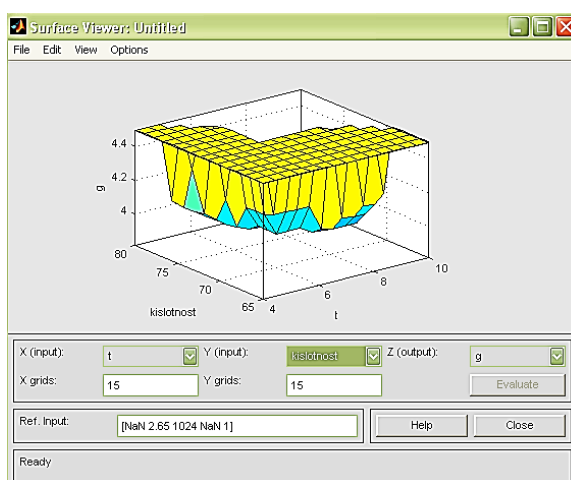


Рис. 5. Зависимость газосодержания от температуры и кислотности напитка

### Выводы

1. Полученные методами нечеткой логики зависимости говорят о том, что первичное газонасыщение падает для напитка повышенной плотности или кислотности при температурах газирования 6–8°C.
2. Разработанная конструкция струйно-барботажного сатуратора продемонстрировала свои полезные качества, в частности пониженное пенообразование.

### Список литературы

1. Алексеев Г.В., Башева Е.П. Устройство для смешивания жидкости с газами. Патент РФ №146078 от 06.06.2014.
2. Алексеев Г.В. Основы теории решения изобретательских задач. Учеб. пособие / Г.В. Алексеев, Н.Б. Жарикова; Федер. агентство по образованию, Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования С.-Петерб. гос. ун-т низкотемператур. и пищевых технологий. – СПб., 2004.



3. Алексеев Г.В., Кондратов А.В. О модели развития кавитационной полости при измельчении пищевого сырья. Хранение и переработка сельхозсырья. – 2008. – №2. – С. 38.
4. Алексеев Г.В., Гришанова Е.А., Кондратов А.В., Гончаров М.В. Возможности реализации эффектов кавитации для измельчения пищевого сырья. Вестник Международной академии холода. – 2012. – №3. – С. 45–47.
5. Алексеев Г.В., Кондратов А.В. Перспективы применения кавитационного воздействия для измельчения пищевых продуктов. Монография. – Саратов, 2013.
6. Алексеев Г.В., Гончаров М.В., Холявин И.И. Численные методы при моделировании технологических машин и оборудования. Учебное пособие. – Санкт-Петербург, 2014.
7. Алексеев Г.В., Вороненко Б.А., Лукин Н.И. Математические методы в пищевой инженерии. – Санкт-Петербург: ЛАНЬ, 2012. – 176 с.
8. 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.
9. 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.
10. Арет В.А., Алексеев Г.В., Верболоз Е.И., Кондратов А.В. Изучение режимов кавитационного разрушения пищевого сырья как элемента нанотехнологий. Известия Санкт-Петербургского государственного университета низкотемпературных и пищевых технологий. – 2007. – №3. – С. 29.
11. Алексеев Г.В., Даниленко Е.А. Возможности моделирования измельчения пищевых добавок для продуктов функционального питания. Вестник Международной академии холода. – 2011. – №2. – С. 16–18.
12. Алексеев Г.В., Верболоз Е.И. Современные подходы к рациональному использованию ресурсов при первичной обработке пищевого сырья. Вестник Международной академии холода. – 2003. – №4. – С. 35–39.
13. Арет В.А., Алексеев Г.В., Верболоз Е.И., Кондратов А.В. Возможности управления процессом измельчения путем изменения структурно-механических свойств пищевой смеси. Известия Санкт-Петербургского государственного университета низкотемпературных и пищевых технологий. – 2008. – №4. – С. 54–58.
14. Алексеев Г.В., Бриденко И.И. Виртуальный лабораторный практикум по курсу «Механика жидкости и газа». – СПб.: ГИОРД, 2007. – С. 152; С. 176.