

В.Н. Иванец, Г.Е. Иванец, Е.А. Светкина

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕНООБРАЗУЮЩИХ СВОЙСТВ МОЛОКА ПРИ ОБРАБОТКЕ В РОТОРНО-ПУЛЬСАЦИОННОМ АППАРАТЕ

В статье представлены результаты исследования влияния конструктивных и режимных параметров роторно-пульсационных аппаратов (РПА) на пенообразующую способность обезжиренного молока. Использование РПА с внутренним статором и принудительной подачей воздушных потоков более эффективно для получения взбитых молочных продуктов.

Роторно-пульсационный аппарат, пенообразующая способность, обезжиренное молоко.

### Введение

В настоящее время актуальным направлением в расширении ассортимента десертных продуктов является получение молочных продуктов с взбитой структурой, обладающих приятным, своеобразным вкусом. Использование обезжиренного молока как основы взбитого десерта способствует получению низкокалорийного продукта, что является немаловажным для людей, страдающих лишним весом. Целью исследований являлось изучение газонасыщения молока самонасыщением и с принудительной подачей воздуха в роторно-пульсационный аппарат.

### Объекты и методы исследований

Объектом исследования являлся роторно-пульсационный аппарат, представленный на рис. 1. Он состоит из корпуса 1, в котором имеются две разделительные перегородки, установленные на валу 2, одна из которых насаживается на вал к основанию ротора 3 и крепится к нему шпонкой, а другая расположена в средней части корпуса, причем нижней стороной опирается на втулку, надетую на вал, а верхней стороной закреплена гайкой. Объем секций можно варьировать количеством втулок. Статор с прорезями 4 жестко закреплен на крышке 5. В состав аппарата входит набор регулировочных шайб 6, при помощи которых устанавливается необходимый зазор между перегородками 7, 8, патрубки для ввода 9 и вывода компонентов 10. В рубашку 11 через входной патрубок 12 подается хладоноситель для поддержания заданной температуры и выводится через выходной патрубок 13. В аппарате имеется рабочая полость 14, которая расположена между стенкой и зубьями, нижняя часть рабочей области 15 и внешняя полость аппарата 16.

Аппарат работает следующим образом. Обрабатываемая жидкая среда через входной патрубок 9 поступает в центральную часть устройства, где за счет центробежных сил, создаваемых вращающимся ротором, проходит в зазор между ротором 3 и статором 4. Проходя последовательно через радиальный зазор между ротором и статором, жидкая среда подвергается механическому воздействию со стороны элементов конструкции аппарата: за счет удара частиц об образованные прорезыи зубья ротора и статора, разделительных перегородок 7, 8, установленных на валу, а также сдвиговых напряжений, возникающих в зазоре. Эти воздействия приводят к гомогенизации,

растворению, измельчению, диспергированию в жидких многокомпонентных системах. В процессе вращения ротора происходит периодическое перекрытие прорезей, вследствие чего возникает гидравлический удар и генерирование низкочастотных колебаний. Таким образом, на обрабатываемую среду происходит наложение упругих колебаний.

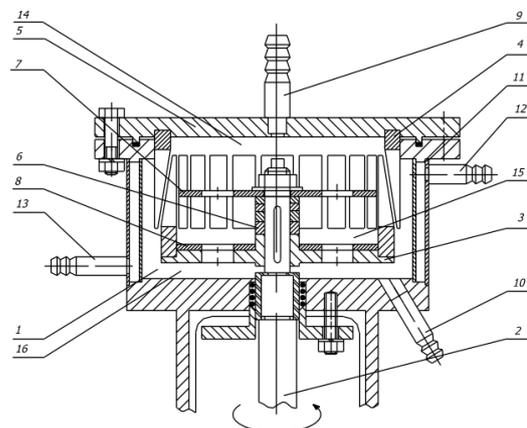


Рис. 1. Роторно-пульсационный аппарат

Перегородки, установленные в корпусе, предназначены для направленной организации движения материальных потоков. Жидкость, попадая в аппарат через патрубок 9, разделяется на два потока: первый, проходя через зубья, попадает в рабочую полость между стенкой и зубьями 14, а второй проходит через отверстия в перегородке 7 и попадает во внутреннюю нижнюю часть рабочей области аппарата 15. Жидкость в полости разделяется на два потока, один из которых выходит через патрубок 10, а второй попадает за счет насосного эффекта в нижнюю полость аппарата 15. Затем жидкость через зубья выходит во внешнюю полость аппарата 16.

Экспериментальные исследования показали, что при данной конструкции аппарат имеет две последовательно соединенные емкости. Следовательно, в предлагаемой конструкции многосекционного роторно-пульсационного аппарата за счет установленных в корпусе разделительных перегородок с различным диаметром отверстий увеличивается время пребывания частиц в аппарате, что позволяет повысить эффективность технологических процессов и улучшить качество получаемого продукта [1]. Для

подачи воздуха с целью аэрирования продукта использовался лопастной центробежный дозатор.

### Результаты и их обсуждение

Процесс аэрирования в данной установке выглядит следующим образом: во время обработки в молоко через газовые патрубки подаются воздушные потоки. Подача газа может иметь принудительный характер – с помощью лопастного центробежного дозатора (давление  $P = 0,04$  МПа, расход воздуха  $Q = 1,2$  м<sup>3</sup>/ч) либо самонасыщением через открытый штуцер аппарата. Пузырьки газа увлекаются потоком обрабатываемой смеси и при прохождении перекрывающихся каналов системы «ротатор – статор» подвергаются тонкодисперсному дроблению и равномерному распределению газовой фазы в обрабатываемом продукте.

Для данной конструкции аппарата предусмотрены различные варианты его настройки, благодаря наличию съемных статорных колец.

Нами был изучен процесс пенообразования молока при различных вариантах настройки аппарата: РПА с внешним статором, РПА с внутренним статором, РПА с внешним и внутренним статором (самонасыщением через открытый патрубков аппарата), а также РПА с внутренним статором и принудительной подачей газовой фазы [2]. Принудительная подача воздушных масс возможна только при внутреннем статоре, так как в связи с конструктивными особенностями внешнего статора он для этих целей не может быть использован. Эксперименты проводили с варьированием продолжительности взбивания. Взбивание проводили не более 3 мин, так как более длительный период приводит к необоснованному расходу мощности, затрачиваемой на перемешивание. При взбивании менее 1 мин продукт не успевает приобрести требуемую однородную консистенцию с высокодиспергированными газовыми частицами. По результатам экспериментов построены графики влияния продолжительности газонасыщения молока при различных вариантах настройки РПА на пенообразующие свойства (плотность и устойчивость пены).

Анализ полученных данных показал, что наилучшая плотность пены наблюдалась в РПА с внутренним статором и при принудительной подаче газовой фазы (рис. 2). Устойчивость пены была максимальна при взбивании в РПА с внешним и внутренним статором (рис. 3). Следует учесть, что в процессе взбивания в РПА с внешним и внутренним статором значительно увеличивалась мощность на перемешивание, что негативно влияет на работу данного аппарата. Наилучшая пенообразующая способность молока отмечалась при взбивании в течение 3 мин.

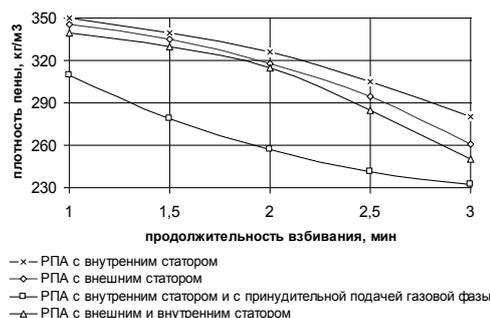


Рис. 2. Влияние продолжительности газонасыщения молока при различных вариантах настройки РПА на плотность пены

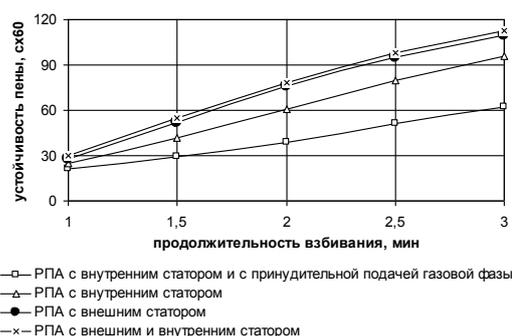


Рис. 3. Влияние продолжительности газонасыщения молока на устойчивость пены при различных вариантах настройки РПА

В качестве исследуемого образца использовали восстановленное обезжиренное молоко как сырье, обладающее высокой пенообразующей способностью. Способность к пенообразованию зависит от многих факторов, одним из которых является кислотность среды. Массы, содержащие белок, проявляют максимальную пенообразующую способность в изoeлектрической точке (ИЭТ), которая, как правило, соответствует рН ниже 7, а для молочных белков – 4,58–4,60. Для выявления влияния рН среды на пенообразующую способность в восстановленное молоко вносили различное количество лимонной кислоты. Влияние рН среды на изменение пенообразующих свойств молока при аэрировании в РПА представлено на рис. 4 и 5. Как видно из графика (см. рис. 4), при снижении содержания рН в молоке от 6,4 до 4,9 плотность получаемой пены уменьшается, способствуя увеличению пенообразующей способности молока. Исследовалось также влияние кислотности на устойчивость пенообразования. Анализируя график, представленный на рис. 5, можно констатировать, что при увеличении кислотности в молоке от 4,9 до 5,8 устойчивость пены уменьшается. Затем при повышении рН до 6,4 незначительно увеличивается. Отсюда следует, что при снижении рН молоко обладает лучшими пенообразующими свойствами.

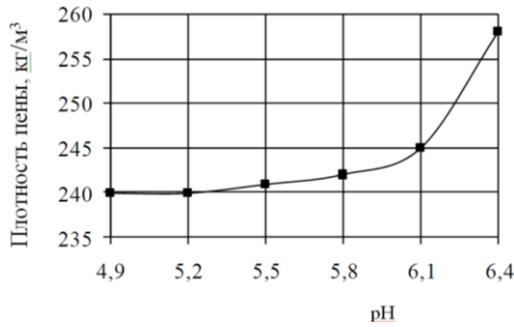


Рис. 4. Влияние pH среды на плотность пены при аэрировании молока в РПА

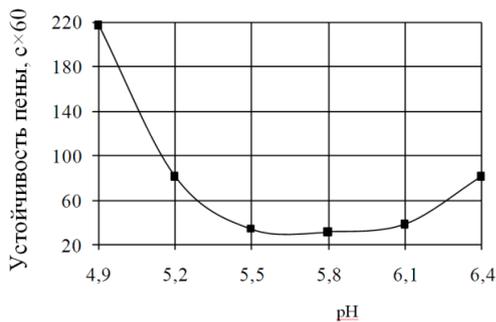


Рис. 5. Влияние кислотности молока на пенообразующие свойства

На втором этапе исследовали влияние конструктивных и режимных параметров аппарата на пенообразующие свойства восстановленного обезжиренного молока с массовой долей содержания белка 2,8 %.

В результате обработки экспериментальных данных [1] получены регрессионные зависимости, характеризующие степень влияния частоты вращения, зазора между ротором и статором на динамику изменения пенообразующей способности продукта.

Зависимость плотности молока от частоты вращения ротора и величины зазора между ротором и статором описывается следующим уравнением:

$$z = 302,84 + 35,22x + 6,12y - 6,79x^2 + 25,30yx + 1,59y^2. \quad (1)$$

Анализ показывает, что при увеличении величины зазора ( $x$ ) от 0,1 до 0,5 мм и частоты вращения ( $y$ ) от 1000 до 3000 об/мин плотность пены повышается. Графическая интерпретация этой зависимости представлена на рис. 6.

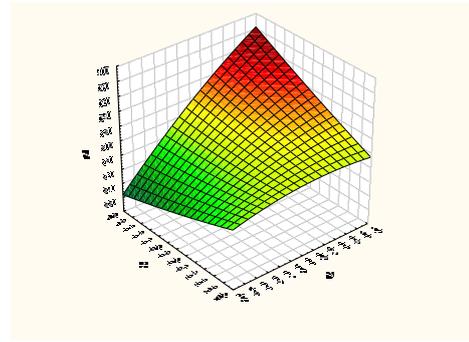


Рис. 6. Зависимость плотности молока ( $z$ ) от частоты вращения ротора ( $y$ ) и величины зазора между ротором и статором ( $x$ )

Зависимость степени взбитости молока от частоты вращения ротора и зазора между ротором и статором описывает регрессионное уравнение вида:

$$z = 66,93 + 4,5x - 2,13y - 5,9x^2 - 4,5xy - 5,8y^2. \quad (2)$$

Графическое представление данной зависимости показано на рис. 7.

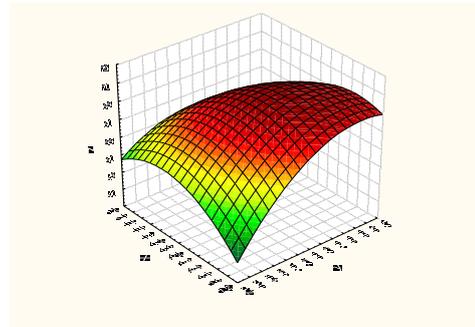


Рис. 7. Зависимость степени взбитости молока ( $z$ ) от частоты вращения ротора ( $y$ ) и зазора между ротором и статором ( $x$ )

Анализируя данное уравнение, можно сделать вывод, что в результате увеличения частоты вращения от 1000 до 3000 об/мин и уменьшения величины зазора от 0,5 до 0,1 мм степень взбитости увеличивается.

На рис. 8 изображена поверхность отклика на основании регрессионного уравнения:

$$z = 33,8 + 42,17x + 4,95y + 32,8x^2 + 14,75xy - 6,15y^2, \quad (3)$$

где  $x$  и  $y$  – кодированные величины.

Уравнение определяет зависимость времени разрушения пены от частоты вращения ротора и величины зазора между ним и статором. При увеличении величины зазора от 0,1 до 0,5 мм и увеличении частоты вращения от 1000 до 3000 об/мин время разрушения пены возрастает.

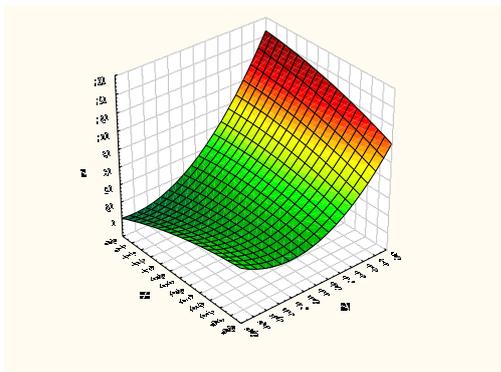


Рис. 8. Зависимость времени разрушения пены ( $z$ ) от частоты вращения ротора ( $y$ ) и величины зазора между ротором и статором ( $x$ )

Для придания более выраженного вкуса к взбитым молочным продуктам добавляют различные подсластители. Известно, что подсластители являются важными компонентами пищи, улучшающими пищеварение за счет активизации секреции пищеварительных желез различных отделов желудочно-кишечного тракта, повышающие ферментную активность выделяемых пищеварительных соков и в итоге улучшающие процесс пищеварения и усвоения пищи. Кроме того, они способствуют оздоровлению микрофлоры кишечника и уменьшают дисбактериоз у представителей различных групп населения.

В пищевой промышленности применяют как природные подсластители, так и синтетические. Не имея глюкозного фрагмента, сахарозаменители могут успешно использоваться при производстве продуктов питания и заменителей сахара для больных сахарным диабетом. Высокий коэффициент сладости позволяет производить низкокалорийные диетические продукты, полностью или частично лишенные легкоусвояемых углеводов.

Целью наших исследований являлось изучение влияния подсластителей на пенообразующие свойства молока. В качестве исходного сырья использовано восстановленное обезжиренное молоко с добавлением сахара и сахарозаменителей с различной концентрацией: «Милфорд Зюсс», в состав которого входит цикломат и сахарин; «Сурель Голд» – аспартам и ацесульфам; «Сукразит», содержащий сахарин.

Сахарин – самый старейший сахарозаменитель, имеет наибольшее распространение на рынке, обладает горьковатым привкусом. Аспартам имеет меньшую степень сладости, чем сахарин, но обладает приятным вкусом. При этом аспартам используется меньше, чем сахарин, так как при повышении температуры его устойчивость к распаду уменьшается. Ацесульфам нетоксичен, не усваивается организмом человека, не накапливается и выводится даже при многократном применении в первоначальной форме, а степень сладости такая же, как у аспартама. Цикломат – бескалорийный, неусваиваемый подсластитель с самым низким коэффициентом сладости. На рынке он является наиболее дешевым подсластителем, поэтому широко используется в пищевых продуктах. Смеси подсластителей обладают наиболь-

шими преимуществами, так как свойства одного компонента усиливают положительные свойства другого.

Для получения пенообразующей массы нами был использован роторно-пульсационный аппарат.

Анализ результатов исследований пенообразующих свойств молока с сахаром и сахарозаменителями при условии обработки в роторно-пульсационном аппарате показал следующие результаты. При использовании молока с содержанием сахара от 0,1 до 6 % получали пену практически такой же плотности, как и молоко с добавлением сахарозаменителей (рис. 9). При последовательном увеличении концентрации сахара плотность пены увеличивалась, что является отрицательным фактором для пенообразующей способности молока. Использование сахарозаменителей в данных экспериментах показало, что их концентрация в молоке от 0,1 до 12 % незначительно влияет на плотность пены. Это объясняется тем, что сахар повышает вязкость молочных основ и увеличивает величину поверхностного натяжения белковых растворов.

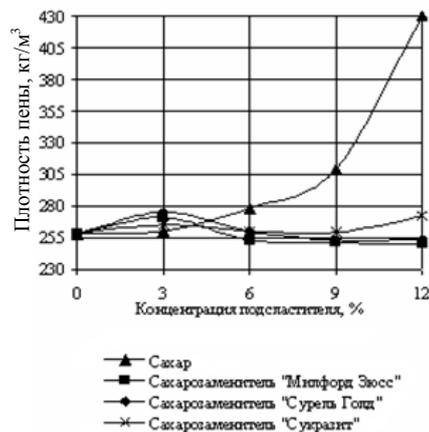


Рис. 9. Влияние концентрации подсластителя на плотность пены молока

Исследование влияния концентрации подсластителя на устойчивость пены показало, что наиболее устойчивой оказалась пена, полученная при использовании сахарозаменителя «Сукразит» с концентрацией 12 % (рис. 10). Это можно объяснить тем, что в его состав входит пищевая сода в количестве 56,8 %, которая влияет на pH молока, что увеличивает его пенообразующие свойства. Как видно из рис. 10, при повышении концентрации сахара в молоке от 0,1 до 12 % устойчивость пены увеличивается. В результате обработки молока, содержащего сахарозаменители «Сурель Голд» и «Милфорд Зюсс», получили пену, устойчивость которой не зависит от концентрации подсластителей.

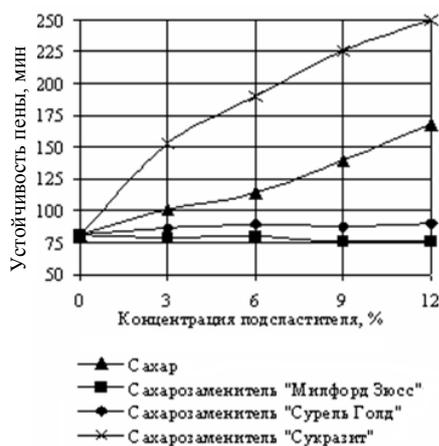


Рис. 10. Влияние концентрации подсластителя на устойчивость пены молока

### Вывод

Изучены пенообразующие свойства обезжиренного сухого молока при обработке его в роторно-пульсационном аппарате. В результате обработки экспериментальных данных получены регрессионные зависимости для определения рациональных конструктивных параметров РПА в технологии производства аэрированных продуктов на основе обезжиренного молока.

Использование РПА с внутренним статором и принудительной подачей воздушных потоков – более эффективное решение для получения взбитых молочных продуктов. Необходимо отметить, что при принудительной подаче газа устойчивость получаемой пены была минимальная, поэтому для обеспечения устойчивости взбитых молочных продуктов целесообразно использовать стабилизаторы.

### Список литературы

1. Светкина, Е.А. Разработка и исследование многосекционного роторно-пульсационного аппарата для производства аэрированных продуктов питания: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Светкина Екатерина Александровна. – Кемерово, 2006. – 16 с.
2. Иванец, Г.Е. Моделирование процесса гомогенизации в РПА с использованием дополнительных конструктивных элементов на основе кибернетического подхода / Г.Е. Иванец, Е.А. Светкина, А.З. Ядуга // Деп. в ВИНТИ. – 2005. – № 779-B2005. – 19 с.

ФГБОУ ВПО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности»,  
650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47.  
Тел./факс: (3842) 73-40-40  
e-mail: office@kemtipp.ru

### SUMMARY

V.N. Ivanets, G.E. Ivanets, E.A. Svetkina

### THE STUDY OF MILK FOAMING PROPERTIES FOR PROCESSING IN A ROTARY-PULSATING MACHINE

The article presents the results of the research on the influence of design and operation parameters of rotary-pulse devices on foaming capacity of skimmed milk. It is shown that the device with the internal stator and forced feed of air flows is effective for making whipped milk products.

Rotary-pulsating machine, foaming capacity, skimmed milk.

Kemerovo Institute of Food Science and Technology  
47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia  
Phone/Fax: +7(3842) 73-40-40  
e-mail: office@kemtipp.ru