

С.А. Иванова

## КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ФОРМИРОВАНИЯ ГАЗОЖИДКОСТНЫХ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ МОЛОЧНОГО СЫРЬЯ

В качестве основной характеристики, определяющей качество газожидкостной дисперсной системы, рассматривается средний диаметр пузырьков. С использованием распределений Пуассона и нормального были определены средние диаметры пузырьков пены, полученной при разных значениях технологических параметров процесса. На основе предложенного подхода определены рекомендуемые значения технологических параметров процесса.

Газожидкостные дисперсные системы, молочное сырье, диаметр пузырька, распределение вероятностей.

### Введение

Вспененные продукты получили распространение в пищевой промышленности и пользуются спросом у потребителей. Такими продуктами являются взбитые сливки, суфле, муссы, мороженое, кофе капучино, зефир, воздушный шоколад, шампанское, пиво, сдоба и т.д. Распределение газовой фазы в непрерывной среде (жидкости) в форме небольших пузырей, делающих продукты легкими, изменяет не только текстуру и твердость, но и вид, цвет, вкус. Все это в совокупности приводит к улучшению вкусовых и визуальных качеств готового продукта.

Для оценки свойств и качества газожидкостных дисперсных систем (ГДС) обычно используются кратность, дисперсность и устойчивость пены, которые зависят от способа генерирования, физико-химических свойств вспениваемого раствора и готовой пены [1–4]. Трудность описания образования пены в пищевых продуктах состоит в том, что многие из них сформированы из различных типов молекул подобно жирам, белкам, эмульгаторам и т.п., взаимодействие которых друг с другом в совокупности в настоящее время понятно не полностью. Кроме того, содержание газа и размер распределенных газовых пузырьков, которые управляют основными свойствами аэрированной пищи, достаточно трудны в управлении. Пенообразная структура и устойчивость продукта могут быть улучшены внесением в состав поверхностно-активного вещества или стабилизатора [4, 5]. В пищевых продуктах эмульгаторы, белки (высокомолекулярные соединения) или смесь обоих используются как поверхностно-активные вещества.

Из механических способов пенообразования в пищевой промышленности обычно используют смешивание, взбивание, тряску и т.п., которые определяют как размер пузырьков готовой пены, так и устойчивость пены и даже внешний вид аэрированного продукта. Главными условиями при выборе того или иного способа являются производительность (интенсивность получения продукта), состоятельность (возможность получения продукта заданных характеристик), эффективность (производство единицы продукта с минимальными затратами). Достаточно часто в исследованиях пенообразования пищевых продуктов используют роторно-пульсационные устройства (РПУ), которые сочетают в себе не только взбивание раствора при высоких скоростях

вращения ротора, но и высокую интенсивность колебаний, что обеспечивает производительность, как минимум на порядок превосходящую производительность обычных миксеров [6–9].

Основными факторами, влияющими на получение ГДС с запланированными параметрами, роторно-пульсационной установкой, являются частота вращения ротора, величина межцилиндрового зазора ротора и статора, коэффициент заполнения рабочей камеры, продолжительность обработки, температурные режимы и свойства обрабатываемого продукта [4, 6–11]. Регулируя перечисленные параметры, можно получать продукт с заранее заданными свойствами.

Не менее важную роль играет сам раствор и его свойства. Одной из характеристик раствора является его вязкость: чем больше вязкость раствора, тем устойчивее межфазные пленки. Водородный показатель и наличие в растворе низкомолекулярных электролитов фактически определяют состояние и свойства пенообразователя. Введение ПАВ в жидкость существенно изменяет свойства газовых дисперсий и жидких пленок: снижается поверхностное натяжение на границе раздела жидкость – газ, облегчается диспергирование газа и уменьшается размер пузырьков, изменяется режим и скорость их всплывания [16].

В качестве пенообразователей в случае жидких пен часто рассматривают коллоидные поверхностно-активные вещества (ПАВ) или высокомолекулярные соединения (ВМС). Белки, являясь ВМС, способствуют образованию газожидкостных дисперсных систем в водных растворах, устойчивость которых непрерывно повышается с ростом концентрации. Биологической жидкостью, богатой высокомолекулярными пенообразователями, является молоко и его составляющие, в частности обезжиренное молоко.

Важную роль играет не только наличие в растворе пенообразователя, но и его концентрация, причем для коллоидных ПАВ максимальная пенообразующая способность достигается в определенном интервале концентраций. В случае применения высокомолекулярных пенообразователей с увеличением концентрации возрастает и пенообразующая способность. Молочные протеины широко используются для стабилизации различных пищевых продуктов, включая и аэрированные. В этой ситуации обезжиренное молоко, и особенно его белковый концентрат, полученный, например, мембранными метода-

ми, является отличной основой для аэрированных (вспененных) продуктов, поскольку содержит в достаточном количестве белки, являющиеся природными поверхностно-активными веществами, которые гарантируют получение достаточно устойчивой пены (газожидкостной системы) [5, 13, 14].

Между размерами пузырьков и стабильностью пены имеется определенная зависимость. В исследованиях, проведенных многими авторами, установлено [1–3, 15], что при незначительном разбросе распределения размера пузырей малого диаметра замедляются механизмы дестабилизации (за счет наименьшей скорости истечения жидкости с поверхности, а также более медленной адсорбции газа между ними) и таким образом обеспечивается лучшее качество готовой пены при уменьшенном объеме стабилизаторов с увеличением срока хранения.

При хранении пены может происходить как разрушение пузырьков, так и изменение их размеров. Чем меньше размеры пузырьков, тем меньше скорость истечения жидкости с поверхности и тем медленнее происходит утончение оболочки. Кроме того, из-за разности давлений происходит уменьшение размеров меньших пузырьков и увеличение размеров больших пузырьков, поэтому желательно, чтобы отличия размеров пузырьков пены от среднего были незначительными. Обобщающим параметром будем рассматривать средний диаметр пузырька.

Изучению влияния на качество ГДС на основе концентрата белков обезжиренного молока изменения параметров функционирования роторно-пульсационной установки ГИД-100/1 (разработанной, изготовленной и смонтированной во ВНИМИ) посвящена эта работа.

На процесс пеногенерирования оказывают влияние следующие параметры: скорость вращения ротора (500–3000 об/мин), заполняемость рабочей камеры (коэффициент заполняемости 0,1–0,3), зазор между ротором и статором (0,10–0,18 мм), температура (4–64 °С) и уровень кислотности рН (4,9–6,8) концентрата белков обезжиренного молока, время обработки. В качестве определяющего критерия в выборе того или иного значения физико-химических и/или технологических параметров процесса будем рассматривать размеры пузырьков, средний диаметр которых около 1 мм и допускает незначительное отклонение от этого значения (выполнение этого условия позволяет получать наиболее устойчивую к разрушению пену).

### Материалы и методы

Для описания распределения пузырей пены по размерам часто используют логарифмически нормальные распределения [1, 15, 16], распределения типа Вейбула [17, 18] и др. [19–22]. В таких случаях параметры этих функций находятся из статистических данных в зависимости от условий генерирования и свойств вспениваемого раствора.

Общее число пузырьков в пене очень велико. Вследствие полидисперсности диаметр пузырьков принимает значения от единиц до сотни микрометров. Поэтому вероятность нахождения в системе пу-

зырька с определенным диаметром стремится к нулю, что соответствует основному содержанию закона редких событий [15].

Для описания распределения пузырьков по размерам можно использовать [1, 15] распределение Пуассона [23]:

$$P(\xi = k) = \frac{\lambda^k}{k!} \cdot e^{-\lambda}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, \quad (1)$$

где  $\xi$  – случайная величина, характеризующая число  $k$  образовавшихся пузырьков пены в единицу времени;  $P(\xi = k_0)$  – вероятность наблюдать событие  $k_0$ , если наивероятнейшее число  $k_0 = [\lambda]$ , где  $[x]$  – целая часть числа  $x$  [23],  $k_0 = 0, 1, 2, \dots$ .

Если выделить определенный отрезок длины  $l$  и рассмотреть дискретную случайную величину  $\xi$  – число пузырьков, попавших в этот отрезок, то ее возможные значения будут  $0, 1, 2, \dots, k, \dots$ . Так как пузырьки попадают на отрезок независимо друг от друга, то теоретически не исключено, что их там окажется сколь угодно много, тогда эта случайная величина  $\xi$  имеет распределение Пуассона [23]. Следовательно,  $P(\xi = k)$  – вероятность попадания ровно  $k$  точек в отрезок  $l$ , в нашем случае конечный отрезок из интервала  $[0, +\infty)$ .

Другим используемым для описания распределения пузырьков по размеру законом [1] является нормальное распределение (распределение Гаусса) [23]:

$$F_{\eta}(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-(t-a)^2 / 2\sigma^2} dt = \Phi\left(\frac{x-a}{\sigma}\right), \quad (2)$$

где  $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^x e^{-t^2 / 2} dt$ , случайная величина

$\eta$  – размер пузырька ГДС в мм, тогда  $a = M\eta = d_{cp}$ ,  $\sigma\eta = \sigma$  – допустимое отклонение размера пузырька ГДС.

Вероятность попадания случайной величины  $\eta$  в заданный интервал определяется формулой

$$P(\eta \in [\alpha, \beta]) = F_{\eta}(\beta) - F_{\eta}(\alpha). \quad (3)$$

### Результаты и их обсуждение

Изменение скорости вращения ротора способствует изменению дисперсности перемешиваемых компонентов, в межцилиндровом зазоре происходят разного рода воздействия за счет высоких срезающих и сдвиговых усилий, т.е. зазор является наиболее активной зоной аппарата в гидродинамическом и гидроакустическом отношении. Значения остальных технологических параметров процесса зафиксировали: коэффициент заполнения рабочей камеры – 0,3; температура  $24 \pm 2$  °С; время обработки 3 мин [14]. Результаты для плотности и устойчивости полученной пены приведены на рис. 1.

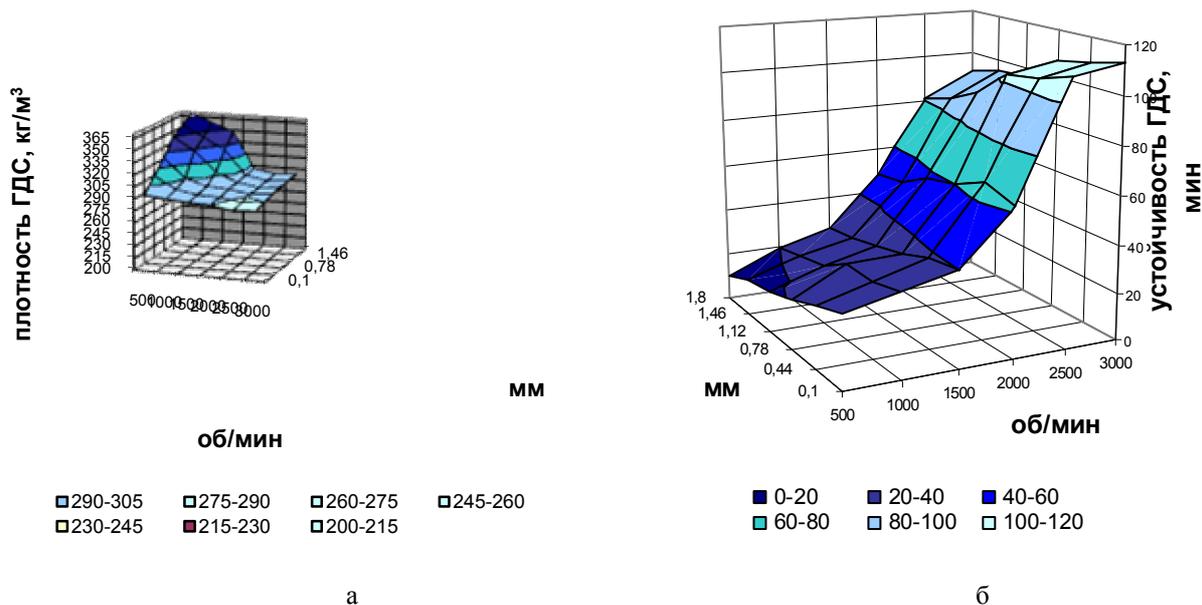


Рис. 1. Влияние частоты вращения ротора и межцилиндрового зазора на качество получаемой ГДС: а – плотность; б – устойчивость

Анализируя полученные результаты (см. рис. 1), можно утверждать, что при увеличении скорости вращения ротора происходит уменьшение плотности до  $285 \text{ кг/м}^3$  и увеличение времени сохранения пены в пределах до 113 минут, что соответствует скорости вращения 2500–3000 об/мин и величине зазора между ротором и статором 0,1–0,44 мм.

Для завершения исследования в качестве критерия однозначного выбора значений параметров рассмотрим средний диаметр пузырька. Чем меньше размеры пузырьков, тем меньше скорость истекания жидкости с поверхности и тем медленнее происходит утончение оболочки. Кроме того, из-за разности давлений происходит уменьшение размеров меньших пузырьков и увеличение размеров больших пузырьков, поэтому желательно, чтобы отличия размеров пузырьков пены от среднего были незначительными. Будем ориентироваться на ГДС с наименьшим средним диаметром пузырька и наименьшим его отклонением.

Увеличение скорости вращения рабочего органа РПУ приводит к увеличению вспениваемости МБК, а также уменьшению времени воздействия на обрабатываемую смесь. Продолжение воздействия на полученную ГДС приводит к уменьшению среднего диаметра пузырьков пены и равномерному их распределению в объеме. Влияние величины межцилиндрового зазора на дисперсность пузырьков газа при аэрировании молока в РПУ при числе оборотов рабочего органа 2500 и 3000 об/мин представлено в табл. 1.

Таблица 1

Влияние величины межцилиндрового зазора на дисперсность ГДС

Величина зазора, мм	Относительное распределение пузырьков, % со средним диаметром, мм			
	2500 об/мин			
	менее 1	1–3	3–5	более 5
0,10	88	12	0	0
0,44	53	32	15	0
3000 об/мин				
0,10	100	0	0	0
0,44	59	30	11	0

В первом приближении средний диаметр  $d_{cp}$  можно определить как выборочную среднюю [23] по табл. 1, считая в качестве значений случайной величины  $\eta$  середины рассматриваемых интервалов:  $d_{cp}(2500;0,10) = 0,680$ ,  $d_{cp}(2500;0,44) = 1,505$ ,  $d_{cp}(3000;0,10) = 0,500$ ,  $d_{cp}(3000;0,44) = 1,335$  мм. Поскольку нас интересует пена со средним диаметром, не превышающим 1 мм, то в рассмотрении остаются образцы, соответствующие величине зазора между ротором и статором 0,10 мм. Для выбора скорости вращения ротора воспользуемся распределением Пуассона, на его основе вычислим средний диаметр как выборочную среднюю и допустимое отклонение как корень арифметический из выборочной дисперсии, разбив интервалы на меньшие, длиной 1, и поступив аналогично ранее описанному (табл. 2). Ошибка расчета относительного распределения пузырьков по размерам с учетом указанного распределения не превосходит 1 % соответственно для разных скоростей вращения рабочего органа.

Поскольку распределение Пуассона является распределением дискретной случайной величины, а распределение пузырьков по размерам можно считать практически непрерывным на интервале  $[0, +\infty)$ , то возникает необходимость воспользоваться законом распределения непрерывной случайной величины для описания этого распределения на основе полученной ранее характеристики – выборочной средней. В качестве такого распределения будем использовать нормальное распределение, в котором  $a = d_{cp}$  (см. табл. 2). Для определения интервалов значений  $(d_{cp} - \sigma, d_{cp} + \sigma)$ , в который попадают пузырьки с вероятностью  $\gamma = 0,95$ , найдем допустимые отклонения  $\sigma = \sqrt{D\eta}$  по формулам (2), (3). Ошибка расчета относительного распределения пузырьков по размерам с учетом нормального распределения не превосходит 12 %.

Таблица 2

Влияние скорости вращения рабочего органа устройства на средний диаметр и допустимое отклонение пузырьков ГДС

Величина зазора, мм	Скорость вращения, об/мин			
	2500		3000	
	$d_{cp}$ , мм	$\sigma$	$d_{cp}$ , мм	$\sigma$
Распределение Пуассона				
0,10	0,628	0,358	0,501	0,032
Нормальное распределение				
0,10	0,628	0,311	0,501	0,420

Более устойчивой пене, а именно  $d_{cp}$ , не превышающий 1 мм, и наименьшее отклонение  $\sigma$ , соответствует образец, полученный при скорости вращения ротора 2500 об/мин. В этом случае диапазон размеров пузырьков ГДС определяет интервал (0,317; 0,939). Воспользовавшись «правилом трех  $\sigma$ », можно увеличить вероятность  $\gamma$  до 0,99 и расширить интервал до 1,551 мм.

На следующем этапе эксперимента определяли рациональные значения коэффициента заполнения рабочей камеры аппарата и температуры раствора, при этом число оборотов рабочего органа РПУ – 2500 об/мин, величина зазора между ротором и статором – 0,1 мм. Рассматриваемые факторы варьировали в следующих диапазонах: коэффициент заполнения от 0,1 до 0,3 и температура от 4 до 64 °С. В первом приближении были определены следующие средние диаметры: 5,380; 2,375; 0,500 и 3,780; 0,650; 0,500; 0,815 мм соответственно для значений коэффициента заполнения рабочей камеры и изменения температуры обрабатываемого раствора. Использование распределений Пуассона и нормального по формулам (1) – (3) позволило определить средний диаметр  $d_{cp}$ , отклонение  $\sigma$ , ошибку определяли по распределению пузырьков по размерам (табл. 3 и 4).

Таблица 3

Влияние коэффициента заполнения рабочей камеры на средний диаметр и допустимое отклонение пузырьков ГДС

Коэффициент заполнения	$d_{cp}$ , мм	$\sigma$	Ошибка, %
Распределение Пуассона			
0,1	5,278	0,641	<6
0,2	2,396	1,331	<5
0,3	0,501	0,032	<1
Нормальное распределение			
0,3	0,501	0,159	<1

Таблица 4

Влияние температуры вспениваемой массы на средний диаметр и допустимое отклонение пузырьков ГДС

Температура, °С	$d_{cp}$ , мм	$\sigma$	Ошибка, %
Распределение Пуассона			
14	4,169	1,371	<11
24	0,605	0,371	<1
34	0,501	0,365	<1
44	0,736	0,633	<1
Нормальное распределение			
24	0,605	0,308	<1
34	0,501	0,161	<1
44	0,736	0,327	<1

Наилучший результат отмечается у образца, обработанного в камере с коэффициентом заполнения рабочей зоны 0,3. В данном случае структура ГДС является однородной, с мелкодиспергированной газовой фазой, об этом же свидетельствуют результаты, приведенные в табл. 3. Распределение Пуассона и нормальное распределение определили средний диаметр, даже с учетом отклонения, меньший единицы. Диапазон значений средних диаметров пузырьков ГДС определяется интервалом (0,342; 0,660), с учетом «правила трех  $\sigma$ » – (0,024; 0,978). Выполнение этого условия позволяет рассматривать коэффициент заполнения рабочей камеры, равный 0,3, как рекомендуемый для получения устойчивой ГДС.

Вычисленные средний диаметр и допустимое отклонение приведены в табл. 4. Средний диаметр  $d_{cp}$ , меньший 1 мм, соответствовал выборкам, полученным при температуре 24, 34, 44 °С, а наименьшие отклонения позволили определить следующие интервалы (0,297; 0,913), (0,340; 0,662), (0,409; 1,063). В силу малости полученных значений можно считать их одинаково пригодными, за исключением последнего варианта, поскольку этот интервал включает значения, большие 1 мм.

Анализ средних диаметров, полученных на первом этапе для разных значений температуры обрабатываемого раствора, и интервалов на втором показал, что в этом случае необходимо рассмотреть и

другие показатели качества ГДС, такие как плотность и устойчивость (рис. 2).

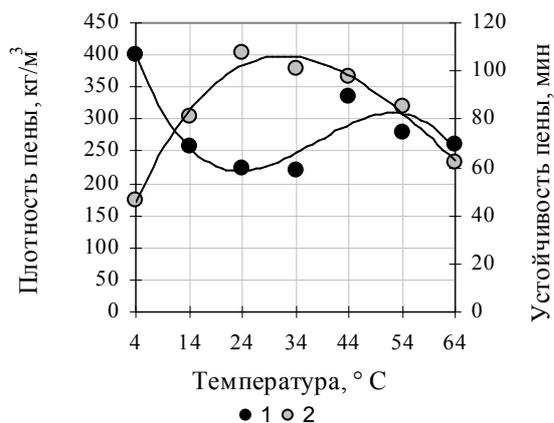


Рис. 2. Влияние температуры на пенообразующие свойства молочно-белкового концентрата: 1 – плотность; 2 – устойчивость

Из рис. 2 видно, что плотность полученной пены для температуры 24 и 34 °C практически одинаковая, а вот устойчивость для 24 °C составила большее значение – 112 мин, поэтому наилучшей пенообразующей способностью характеризовался

концентрат белков обезжиренного молока при температуре до 24 °C.

Проведенные исследования показали состоятельность использования распределений Пуассона и нормального для описания распределения пузырьков ГДС по размерам. Полученные функциональные зависимости адекватно описывают размеры пузырьков ГДС на основе концентрата белков обезжиренного молока. Законы распределения использовали для определения средних диаметров пузырьков ГДС из МБК и диапазонов их значений. Анализ результатов позволил сформулировать рекомендации по обеспечению качества ГДС, полученной при роторно-пульсационной обработке МБК (процесс обработки разумно проводить при скорости вращения ротора 2500 об/мин, коэффициенте заполнения рабочей камеры – 0,3; величине зазора между ротором и статором – 0,1 мм, температуре обрабатываемого раствора 24±2 °C).

Использование роторно-пульсационной установки при эмпирически установленных значениях технологических параметров процесса пеногенерирования ультрафильтрационного концентрата белков обезжиренного молока позволяет получить практически равномерно распределенную по размерам газожидкостную дисперсную систему, которая обладает большей стабильностью.

#### Список литературы

1. Кругляков, П.М. Пена и пенные пленки / П.М. Кругляков, Д.Р. Ексерова. – М.: Химия, 1990. – 432 с.
2. Labbafi, M. Development of an on-line optical method for assessment of the bubble size and morphology in aerated food products / M. Labbafi, R.K. Thakur, C. Vial, G. Djelveh // *Food Chemistry*. – 2007. – V. 102. – P. 454–465.
3. Просеков, А.Ю. Теория и практика формирования молочных пенообразных систем: монография / А.Ю. Просеков, Т.Л. Остроумова. – М.: Издательство РАСХН, 2005. – 216 с.
4. Остроумова, Т.Л. Аспекты формирования структуры газожидкостных систем молочных продуктов в условиях интенсивных гидромеханических нагрузок: монография / Т.Л. Остроумова. – М.: Издательство РАСХН, 2006. – 178 с.
5. *Advanced dairy science and technology* / edited by Trevor J. Britz and Richard K. Robinson. – UK: Blackwell Publishing Ltd, 2008. – P. 302.
6. Просеков, А.Ю. Влияние технических характеристик роторно-пульсационного аппарата на структуру взбитого продукта / А.Ю. Просеков, Е.В. Строева, Т.Л. Остроумова // *Хранение и переработка сельхозсырья*. – 2005. – № 5. – С. 61–63.
7. Walstra, P. *Physical Chemistry of Foods*. – New York: Marcel Dekker, 2003. – 355 p.
8. Будрик, В.Г. Создание и исследование роторно-пульсационной установки для производства жидких и пастообразных молочных продуктов: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.12 / Будрик Владислав Глебович. – М.: ВНИМИ, 2005. – 155 с.
9. Müller-Fischer, N. *Dynamically Enhanced Membrane Foaming*, ScD, thesis, Swiss Federal Institute of Technology Zurich, The Switzerland, 2007. – P. 238.
10. Иванова, С.А. Исследование процесса пеногенерирования вторичного молочного сырья / С.А. Иванова, В.А. Павский // *Техника и технология пищевых производств*. – 2010. – № 1. – С. 14–17.
11. Баканова, О.А. Исследование и разработка технологии пенообразных молочно-растительных продуктов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Кемерово, 2006. – 17 с.
12. Шелудко, А. Коллоидная химия / А. Шелудко. – М.: Мир, 1984. – 320 с.
13. Eister, M.D. Stability of foams containing proteins, fat particles and nonionic surfactants / M.D. Eister, S.A.K. Jeelani, L. Bernhard, E.J. Windhab // *Chemical Engineering Science*. – 2007. – V. 62. – № 7. – P. 1974–1987.
14. Иванова, С.А. Пеногенерирование молочного сырья / С.А. Иванова // *Молочная промышленность*. – 2010. – № 1. – С. 59–60.
15. Тихомиров, В.К. Пены. Теория и практика их получения и разрушения / В.К. Тихомиров. – М.: Химия, 1983. – 264 с.
16. Du, L. Variation of bubble size distribution in a protein foam fractionation column measured using a capillary probe with photoelectric sensors / L. Du, A. Prokop, R.D. Tanner // *Journal of colloid and interface science*. – 2003. – V. 259. – P. 180–185.
17. Magrabi, S.A. Bubble size distribution and coarsening of aqueous foams / S.A. Magrabi, B.Z. Dlugogorski, G.J. Jameson // *Chemical engineering science*. – 1999. – V. 54. – P. 4007–4022.
18. Bisperink, C.G.J. Bubble size distribution in foam / C.G.J. Bisperink, A.D. Ronteltap, A. Prins // *Advances in colloid and interface science*. – 1992. – V. 38. – P. 13–32.
19. Calvert, J.R. Bubble size effects in foams / J.R. Calvert, K. Nezhai // *International journal of numerical methods for heat and fluids*. – 1987. – № 8. – P. 102–106.
20. Fang, Z. Modeling particle size distributions by the Weibull distribution function / Z. Fang, P.R. Patterson, Jr. M.E. Turner // *Materials characterization*. – 1993. – V. 31. – P. 177–182.

21. Lewis, D.A. Measurement of bubble sizes and velocities in gas-liquid dispersions / D.A. Lewis, R.S. Nicol, J.W. Thompson // Chemical engineering research and design. – 1984. – V. 62. – P. 334–336.
22. Selecki, A. The continuous direct method of bubble size determination in static foams / A. Selecki, R. Wasiak // Journal of colloid and interface science. – 1984. – V. 102. – № 2. – P. 557–559.
23. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – М.: Высшая школа, 2002. – 576 с.

ГОУ 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

**S.A. Ivanova**

### **Quality evaluation criteria of gas-liquid disperse system formation of dairy raw material**

A mean bubble diameter is considered to be the main characteristic for describing the quality of gas-liquid disperse system (GLDS). Using the Poisson and Gauss distributions the mean bubble diameters of foams formed at different operations have been determined. On the basis of the approach suggested the recommended foaming process parameters have been defined.

Gas-liquid disperse systems, dairy raw materials, bubble diameter, distribution of probability.

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

