УДК 637.1:621.929

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ БАРАБАННОГО СМЕСИТЕЛЯ НА ОСНОВЕ РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА ПРИ ПОЛУЧЕНИИ СУХОЙ ЙОГУРТНОЙ ОСНОВЫ

Д.М. Бородулин[1], В.Г. Будрик[2], М.Т. Шулбаева[1,*], А.В. Шафрай[1]

[1]ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)», 650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47

[2]ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности», 115093, Россия, г. Москва, ул. Люсиновская, 35

**e-mail: sh-m-t@yandex.ru*

Дата поступления в редакцию: 16.02.2016
Дата принятия в печать: 15.04.2016

В большинстве случаев сыпучие компоненты, используемые при производстве сухой йогуртной основы, имеют различный гранулометрический состав и плотность. Поэтому разработка эффективного смесительного оборудования, позволяющего получать сухую йогуртную основу с высокой степенью однородности, является актуальной задачей, представляющей интерес для молочной промышленности. Для изучения интенсификации процесса смешения сухих сыпучих материалов и получения сухой йогуртной основы высокого качества был разработан и изготовлен непрерывно действующий барабанный смеситель, обладающий низкой энергозатратностью, эффективностью смешивания, сохранением структуры смешиваемых компонентов. Кроме этого, данный аппарат обладает возможностью совмещенного продольного и поперечного смешивания сыпучих компонентов за счет наличия различных контуров рециркуляции смеси по всей длине барабана. В статье представлены результаты исследования по выявлению степени влияния частоты вращения барабана, коэффициента заполнения барабана и расположения Г-образных лопастей на качество сухой йогуртной основы. В работе изучались два варианта расположения Г-образных лопастей: шахматное и спиралевидное. Доказано, что наилучшее качество смеси достигается при спиралевидном расположении Г-образных лопастей. В этом случае ингредиенты рекомендуется смешивать при частоте вращения барабана 25 об/мин и коэффициенте заполнения аппарата 20 %. В результате обработки экспериментальных данных при помощи программы Statistica получили математические регрессионные модели, которые с высокой степенью точности предсказывают качество получаемой сухой йогуртной основы. Значения относительной погрешности между экспериментальными значениями коэффициента неоднородности и предсказанными составили 8,9 и 0,98 % для шахматного и спиралевидного расположения Г-образных лопастей соответственно.

Барабанный смеситель, сыпучие материалы, регрессионный анализ, уравнение регрессии, коэффициент неоднородности, рациональные параметры, сухая йогуртная основа

Введение

При производстве сладкого йогурта в Кемеровской области на ООО «Деревенский молочный завод» широко применяется резервуарный метод. В отличие от классической технологии стабилизатор находится в сухом виде (модифицированный крахмал) и вносится в молоко совместно с сахаром и сухим молоком. Эти ингредиенты в необходимых пропорциях смешиваются в отдельном бачке ручным способом. Качество такого процесса не удовлетворяет современным требованиям, в результате чего при внесении сухой йогуртной основы в молоко стабилизатор и сухое молоко слипаются в прочные и нерастворимые конгломераты. В этих условиях готовый продукт не соответствует заданной рецептуре и желаемому конечному качеству [3].

Для решения данной проблемы предлагается включить в технологическую линию по производству йогурта на стадию смешивания его сухой основы смесительный агрегат, включающий в себя дозаторы объемного типа и барабанный смеситель непрерывного действия (Патент РФ № 2508937) [1, 4, 6]. Последний обладает низкой энергозатратностью, эффективностью смешивания, сохранением структуры смешиваемых компонентов при их соотношении в диапазоне от 1:10 до 1:40, а также возможностью совмещенного продольного и поперечного смешивания сыпучих компонентов за счет наличия различных контуров рециркуляции смеси по всей длине барабана.

Модернизированная технологическая схема производства йогурта представлена на рис. 1.

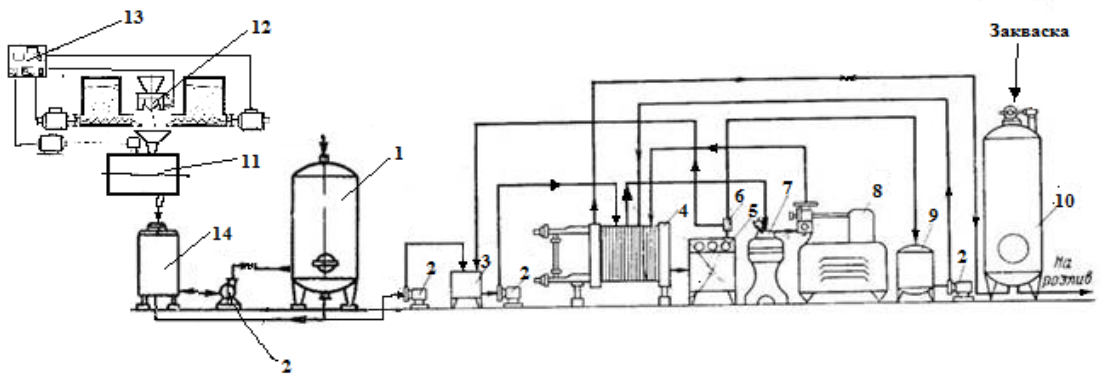

Рис. 1. Модернизированная технологическая схема производства йогурта:
1 – емкость для сырого молока; 2 – насосы; 3 – балансировочный бачок; 4 – пластинчатая пастеризационно-охладительная установка; 5 – пульт управления; 6 – оборотный клапан; 7 – сепаратор-нормализатор;
8 – гомогенизатор; 9 – емкость для выдерживания молока; 10 – емкость для йогурта; 11 – барабанный смеситель;
12 – блок дозаторов; 13 – пульт управления; 14 – емкость для предварительного смешивания молока с сухой смесью

Цель работы – определение рациональных конструктивных и технологических параметров работы нового барабанного смесителя на основе регрессионного анализа результатов теоретических и экспериментальных исследований при получении сухой йогуртной основы.

В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

- исследовать усовершенствованную конструкцию смесителя барабанного типа с целью выявления рациональных конструктивных и технологических параметров работы, обеспечивающих производство качественной смеси;
- провести регрессионный анализ полученных данных для выявления степени влияния варьируемых параметров на качество получаемой сухой йогуртной основы;
- получить регрессионную модель, позволяющую прогнозировать качество конечного продукта.

Объекты и методы исследований

В качестве объекта исследований была взята новая конструкция барабанного смесителя с установленными внутри Г-образными лопастями для создания внутренней рециркуляции получаемой смеси при соотношении компонентов 1:40. Предметом исследования являлось выявление рациональных конструктивных и технологических параметров барабанного смесителя, влияющих на качество смешения при получении сухой йогуртной основы.

Для реализации поставленных задач использованы разработанные ранее на кафедре «Технологическое проектирование пищевых производств» методики по определению концентрации ключевого компонента в смеси с применением статистических методов обработки экспериментальных данных [1].

Результаты и их обсуждение

Для достижения поставленной цели были проведены исследования по выявлению степени влияния частоты вращения барабана *n*, коэффициента заполнения барабана *K* и расположения Г-образных лопастей на качество многокомпонентных смесей (сухая йогуртная основа), оцениваемое коэффициентом вариации *Vc*.

В ходе экспериментальных исследований изменялась частота вращения барабана *n* в диапазоне 10–40 (об/мин), коэффициент заполнения барабана *K* в диапазоне 10–30 (%), шахматное и спиралевидное расположение Г-образных лопастей. Базовые (нулевые) точки и шаги варьирования приведены в табл. 1.

Таблица 1

Базовые точки и шаги варьирования

Фактор и его обозначение	Верхний уровень	Нижний уровень	Центр плана	Интервал варьирования
Частота вращения барабана X1	40	10	25	15
Коэффициент заполнения барабана X2	30	10	20	10

Рецептура сухой йогуртной основы и физико-механические характеристики смешиваемых компонентов, при которых осуществлялось смешивание, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Рецептура сухой йогуртной основы

Наименование сырья	Сахар	Сухое молоко	Стабилизатор
Количество сырья в 100 кг молока	5,78 кг	1,66 кг	0,25 кг
Плотность, кг/м^3	900	450	560
Влажность, %	0,05...0,1	3...4	18...20
Диаметр частиц, мкм	940...960	80...100	150...250

Варьируемые параметры и полученное качество смешивания, оцениваемое при помощи коэффициента неоднородности *Vc*, сведены в табл. 3.

Таблица 3

Варьируемые параметры и значения коэффициента неоднородности *Vc*

В кодированном виде		В натуральном виде		Коэффициент неоднородности *Vc*, %	
X_1	X_2	*n*, об/мин	*K*, %	Шахматное расположение лопастей	Спиралевидное расположение лопастей
-	-	10	10	9,61	9,11
+	-	40	10	10,25	8,27
0	-	25	10	11	7,38
-	+	10	30	7,25	7,40
+	+	40	30	8,29	6,5
0	+	25	30	6,89	5,4
-	0	10	20	6,08	6,7
+	0	40	20	9,32	6,12
0	0	25	20	7,54	5,05

Из табл. 3 видно, что наилучшее качество получается при спиралевидном расположении Г-образных лопастей. Это объясняется тем, что при данном расположении лопастей осуществляется большая рециркуляция смеси в рабочей зоне аппарата, приводящая к значительному усреднению материальных потоков и увеличению времени пребывания частиц в аппарате. Также видно, что лучшие результаты получаются при *K*, равном 20 %, это объясняется тем, что при малой степени заполнения не происходит достаточного послойного перемешивания, характерного для барабанных смесителей, а при большой степени заполнения начинает создавать помехи центральный вал, на котором закреплены лопасти.

Для лучшего восприятия полученных данных представили их в виде поверхностей отклика, полученных в программе Statistica 8.

Для шахматного расположения Г-образных лопастей поверхность отклика представлена на рис. 2.

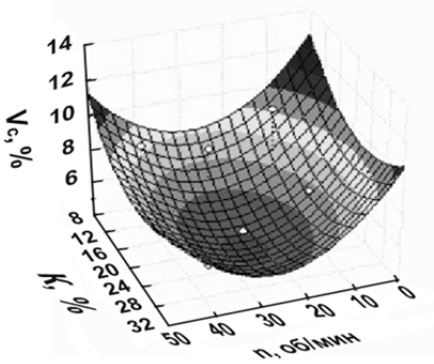

Рис. 2. Зависимость коэффициента неоднородности от частоты вращения и коэффициента заполнения барабана

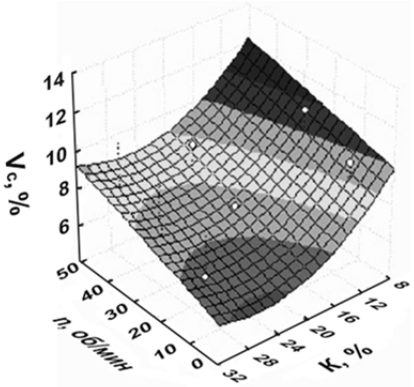

Рис. 3. Зависимость коэффициента неоднородности от частоты вращения и коэффициента заполнения барабана

Из рис. 2 видно, что при работе барабанного смесителя с расположением Г-образных лопастей в шахматном порядке достигается наилучшее качество сухой йогуртной основы при частоте вращения барабана 10 об/мин и коэффициенте заполнения аппарата 20 %.

Рис. 3 показывает, что при смешивании сухой йогуртной основы на барабанном смесителе со спиралевидным расположением Г-образных лопастей следует выбирать частоту вращения барабана 25 об/мин и коэффициент заполнения аппарата 20 %.

Дальнейший регрессионный анализ [2, 5] был направлен на определение степени влияния варьируемых параметров на качество сухой йогуртной основы, смешанной на барабанном смесителе с поочередно установленными Г-образными лопастями в шахматном или спиралевидном порядке. Для этого применялась статистическая программа Statistica 8 с использованием модуля «Общие регрессионные модели».

На первом этапе моделирования провели анализ работы смесителя с шахматным расположением Г-образных лопастей. В табл. 4 приведены оценки данной модели.

Таблица 4

Оценка модели

Множественный коэффициент корреляции, R	0,846
Множественный коэффициент детерминации, R^2	0,715
Скорректированный коэффициент корреляции, R	0,621
F-критерий	7,552
p-уровень	0,0229

Коэффициент корреляции (R), равный 0,846, близок к единице, что говорит о сильной зависимости выходной переменной от входных переменных. Коэффициент детерминации (R^2) данной модели, равный 0,715, также высок. Из этого следует, что доля дисперсии зависимой переменной, объясняемая рассматриваемой моделью зависимости, равна 71,5 %. F-критерий Фишера имеет достаточное значение (F = 7,552), чтобы утверждать, что модель является адекватной и может быть применима для

прогнозирования коэффициента *Vc*. Рассматриваемая модель является статистически значимой, так как р-уровень составляет 2,29 %. Это показывает, что модель с вероятностью 0,0229 будет являться лишь случайным совпадением для данной выборки.

В табл. 5 приведены коэффициенты регрессии модели.

Таблица 5

Коэффициенты модели

	Vc, % Param	*Vc*, % t	*Vc*, % p	*Vc*, % Beta
Св. член	9,913	8,680	0,00013	-
n, об/мин	0,054	1,959	0,0978	0,426
K, %	-0,141	-3,357	0,0153	-0,731

Статистическая значимость (р-уровень) у коэффициентов низкая, в пределах 0,01–1,5 %, лишь у одного коэффициента чуть выше – 9,78 %. Это показывает, что каждый найденный коэффициент с вероятностью, равной соответствующему ему р-уровню, будет говорить, что найденная зависимость является лишь случайной особенностью данной выборки. Аналогичные результаты отображает t-критерий Стьюдента. Он достаточно высок, что также подтверждает статистическую значимость коэффициентов. В соответствии с этим оценены коэффициенты Beta, показывающие меру чувствительности одной переменной к другой. Из табл. 5 видно, что наибольшее влияние на качество сухой йогуртной основы оказывает коэффициент заполнения барабана *K*, причем это влияние обратно пропорционально, т.е. с возрастанием *K* коэффициент неоднородности *Vc* снижается. Влияние второй переменной – частоты вращения в исследуемом диапазоне на *Vc* менее заметно по отношению к коэффициенту заполнения, однако это не дает оснований для ее исключения из регрессионного анализа.

Сложив коэффициенты (параметры модели Param) из табл. 5, получаем итоговую регрессионную модель (уравнение регрессии), позволяющую прогнозировать значения зависимой переменной *Vc*:

$$Vc = 9{,}913 + 0{,}054 \times n - 0{,}141 \times K\,. \qquad (1)$$

По данному уравнению регрессии построили поверхность отклика, представленную на рис. 4.

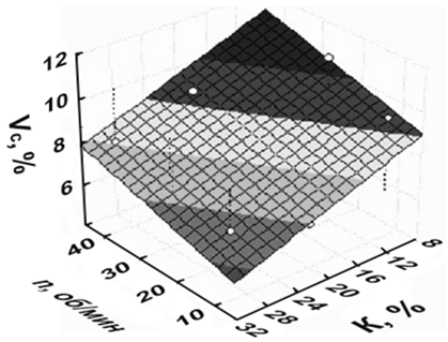

Рис. 4. Зависимость коэффициента неоднородности от частоты вращения и коэффициента заполнения барабана

С помощью полученной модели сравнили наблюдаемые значения (полученные в ходе эксперимента, табл. 3) зависимой переменной с предсказанными (полученные с помощью математической модели). Адекватность предсказанных значений коэффициента неоднородности оценили с помощью относительной погрешности, рассчитанной по формуле

$$\Delta Vc = \frac{\left| Vc^{Набл} - Vc^{Пред} \right|}{Vc^{Пред}} \times 100\%\,. \qquad (2)$$

Полученные результаты сведены в табл. 6.

Таблица 6

Сравнение наблюдаемых и предсказанных значений

№	*Vc*, % Наблюдаемые	*Vc*, % Модельные	Относительная погрешность, %
1	9,61	9,05	5,77
2	10,25	10,69	4,34
3	11,0	9,87	10,22
4	7,25	6,24	13,86
5	8,29	7,88	4,88
6	6,89	7,06	2,53
7	6,08	7,65	25,82
8	9,32	9,29	0,32
9	7,54	8,47	12,33

Из табл. 6 видно, что среднее значение относительной погрешности составляет 8,9 %, а как известно, инженерные расчеты допускают не более 10 %, следовательно, модель можно использовать для предсказания качества сухой йогуртной основы, полученной на барабанном смесителе с шахматным расположением Г-образных лопастей.

На втором этапе моделирования провели анализ работы смесителя со спиралевидным расположением Г-образных лопастей. В табл. 7 приведены оценки модели.

Таблица 7

Оценка модели

Множественный коэффициент корреляции, R	0,998
Множественный коэффициент детерминации, R^2	0,996
Скорректированный коэффициент корреляции, R	0,992
F-критерий	271,68
р-уровень	0,00004

Коэффициент корреляции (R), равный 0,998, практически приблизился к единице, что говорит о сильной зависимости выходной переменной от входных переменных. Помимо этого, р-уровень составляет 0,004 %, что подтверждает статистическую значимость модели.

В табл. 8 приведены коэффициенты регрессии модели.

Таблица 8

Коэффициенты модели

	Vc, % Param	*Vc*, % t	*Vc*, % p	*Vc*, % Beta
Св. член	16,937	50,272	0,000001	-
n, об/мин	-0,338	-18,920	0,000046	-3,357
n^2, об/мин	0,00625	17,738	0,000059	3,147
K, %	-0,646	-20,146	0,000036	-4,270
K^2, %	0,0139	17,486	0,000063	3,706

Статистическая значимость (p-уровень) у всех коэффициентов находится в пределах 0,001–0,006, что говорит о высокой статистической значимости рассматриваемых коэффициентов. В соответствии с этим оценены коэффициенты Beta, показывающие, что все параметры практически в равной степени влияют на *Vc*.

Сложив коэффициенты (параметры модели Param) из табл. 8, получаем итоговую регрессионную модель (уравнение регрессии), позволяющую прогнозировать значения зависимой переменной *Vc*:

$$Vc = 16{,}94 - 0{,}338 \times n - 0{,}646 \times K + \\ + 0{,}00625 \times n^2 + 0{,}0139 \times K^2. \quad (3)$$

По данному уравнению получили поверхность отклика, представленную на рис. 5.

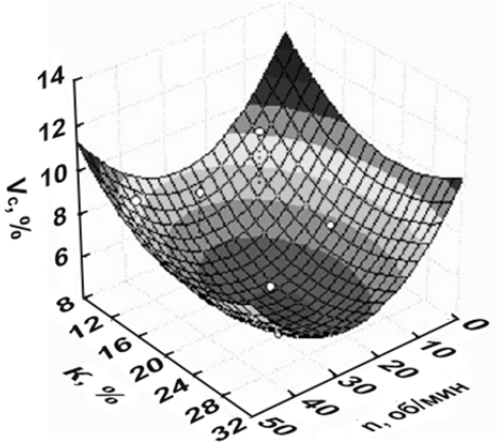

Рис. 5. График зависимости коэффициента неоднородности от частоты вращения и коэффициента заполнения барабана

Аналогичным образом с помощью полученной модели сравнили экспериментальные значения (табл. 3) коэффициента неоднородности с полученными с помощью математической модели. Адекватность предсказанных значений *Vc* оценили по формуле (2). Результат сравнения приведен в табл. 9.

Таблица 9

Сравнение наблюдаемых и предсказанных значений

№	*Vc*, % Наблюдаемые	*Vc*, % Модельные	Относительная погрешность, %
1	9,11	9,108	0,01
2	8,27	8,34	0,80
3	7,38	7,32	0,87
4	7,40	7,29	1,50
5	6,50	6,52	0,24
6	5,40	5,49	1,77
7	6,70	6,81	1,67
8	6,12	6,04	1,33
9	5,05	5,02	0,62

Из табл. 9 видно, что среднее значение относительной погрешности составляет всего 0,98 %. Следовательно, модель может считаться адекватной и применяться с высокой степенью точности для предсказания качества сухой йогуртной основы, полученной на барабанном смесителе со спиралевидным расположением Г-образных лопастей.

Ввиду приведенных выше рассуждений полученные модели адекватны и могут быть применимы для дальнейшего предсказания коэффициента неоднородности при получении сухой йогуртной основы в зависимости от исследуемых технологических и конструктивных параметров работы барабанного смесителя непрерывного действия.

Выводы

1. Получены рациональные параметры работы смесителя непрерывного действия барабанного типа при получении сухой йогуртной основы: *n* = 25 об/мин, *K* = 20 %, спиралевидное расположение Г-образных лопастей, при которых коэффициент неоднородности имеет свое наименьшее значение 5,5 %.

2. При работе барабанного смесителя с шахматным расположением Г-образных лопастей наилучшие показатели качества (*Vc* = 6,08 %) достигаются при частоте вращения барабана 10 об/мин и коэффициенте заполнения 20 %.

3. На основе инструмента программы Statistica получили математические регрессионные модели, позволяющие с высокой степенью точности предсказывать качество получаемой сухой йогуртной основы. Значения относительной погрешности между экспериментальными значениями зависимой переменной *Vc* и предсказанными составили 8,9 и 0,98 % для шахматного и спиралевидного расположения Г-образных лопастей соответственно.

Список литературы

1. Бородулин, Д.М. Развитие смесительного оборудования центробежного типа для получения сухих и увлажненных комбинированных продуктов: монография / Д.М. Бородулин, В.Н. Иванец. – Кемерово, 2012. – 178 с.

2. Бородулин, Д.М. Исследование функционирования центробежного смесителя непрерывного действия методом множественного регрессионного анализа / Д.М. Бородулин, А.Б. Шушпанников, Л.А. Войтикова // Техника и технология пищевых производств. – 2012. – № 1. – С. 98–103.

3. Бородулин, Д.М. Применение барабанного смесителя в линии производства йогуртного продукта / Д.М. Бородулин, Д.В. Сухоруков, С.С. Комаров // Молочная промышленность. – 2015. – № 12. – С. 20–21.

4. Пат. 2508937 Российская Федерация, МПК B01F9/02. Барабанный смеситель / Иванец В.Н., Бородулин Д.М., Комаров С.С.; заявитель и патентообладатель Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – № 2012128003/05; заявл. 03.07.2012; опубл. 10.03.2014, Бюл. № 32.

5. Моделирование смесительного агрегата центробежного типа на основе кибернетического подхода / В.Д. Харитонов, Д.М. Бородулин, Д.В. Сухоруков, С.С. Комаров // Молочная промышленность. – 2013. – № 7. – С. 78–80.

6. Ivanets V. N. Intensification of bulk materialmixing in new designs of drum, vibratory andcentrifugal mixers / V.N. Ivanets, D. M. Borodulin, A. B. Shushpannikov, D. V. Sukhorukov // Foods and Raw Materials. – 2015, Vol.3, (No. 1). – P. 62–69. DOI 10.12737/11239.

DETERMINATION OF RATIONAL PARAMETERS OF THE DRUM MIXER OPERATION BASED ON THE REGRESSION ANALYSIS WHEN OBTANING THE DRY YOGHURT BASE

D.M. Borodulin[1], V.G. Budrik[2], M.T. Shulbaeva[1,*], A.V. Shafrai[1]

[1]Kemerovo Institute of Food Science and Technology (University), 47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia

[2]All-Russia Dairy Research Institute, 35, Liusinovskaya Str., Moscow, 115093, Russia

**e-mail: sh-m-t@yandex.ru*

Received: 16.02.2016
Accepted: 15.04.2016

In most cases, loose components used in the production of dry yoghurt base have different granular-metric composition and density. Therefore, the development of the effective mixing equipment to obtain dry yoghurt base with a high degree of homogeneity is an actual problem for the dairy industry. To study the intensification of mixing the dry loose materials and to obtain high quality dry yoghurt base, the continuous drum mixer was developed and produced which possesses low energy consumption, mixing efficiency, preservation of the structure of mixed components. In addition, this unit is capable of combined longitudinal and transverse mixing of loose components due to the availability of different loops of the mixture recirculation throughout the length of the drum. The article presents the results of study on identification of the degree of influence of the drum rotation frequency, drum filing coefficient and the location of Г-shaped blades on the quality of dry yoghurt base. Two variants of the location of Г-shaped blades, staggered and helical, have been studied. It has been proved that the best quality of mixture is achieved with the helical arrangement of Г-shaped blades. In this case, it is recommended to mix the ingredients at the drum rotation frequency of 25 rev/min, and the filling coefficient of 20%. Mathematical regression models were obtained because of the processing of the experimental data using the program “Statistica”. They predict the quality of dry yoghurt base with a high degree of accuracy. The values of relative error between the experimental and the predicted values of the heterogeneity coefficient are 8.9 and 0.98% for staggered and helical arrangements of Г-shaped blades, respectively.

Drum mixer, loose materials, regression analysis, regression equation, heterogeneity coefficient, rational parameters, dry yoghurt base

References

1. Borodulin D.M., Ivanets V.N. *Razvitie smesitel'nogo oborudovaniya tsentrobezhnogo tipa dlya polucheniya sukhikh i uvlazhnennykh kombinirovannykh produktov* [The development of mixing equipment of centrifugal type for reception of dry and moist combination products]. Kemerovo, KemIFST Publ., 2012. 178 p.

2. Borodulin D.M., Shushpannikov A.B., Voytikova L.A. Issledovanie funktsionirovaniya tsentrobezhnogo smesitelya nepreryvnogo deystviya metodom mnozhestvennogo regressionnogo analiza [Research of functioning of the centrifugal mixer of continuous action by the method of multiple regression analysis]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* [Food Processing: Techniques and Technology], 2012, no. 1, pp. 98–103.

3. Borodulin D.M., Sukhorukov D.V., Komarov S.S. Primenenie barabannogo smesitelya v linii proizvodstva yogurtnogo produkta [Application of the drum mixer in the technological line for the yogurt product manufacturing]. *Molochnaya promyshlennost'* [Dairy Industry], 2015, no. 12, pp. 20–21.

4. Ivanets V.N. Borodulin D.M., Komarov S.S. *Barabannyy smesitel'* [Drum mixer]. Patent RF, no. 2508937, 2014.

5. Kharitonov V.D., Borodulin D.M., Sukhorukov D.V., Komarov S.S. Modelirovanie smesitel'nogo agregata tsentrobezhnogo tipa na osnove kibernetiche-skogo podkhoda [Modeling of the mixing aggregate of the centrifugal type on the basis of cybernetic approach]. *Molochnaya promyshlennost'* [Dairy Industry], 2013, no. 7, pp. 78–80.

6. Ivanets V.N., Borodulin D.M., Shushpannikov A.B., Sukhorukov D.V. Intensification of bulk material mixing in new designs of drum, vibratory and centrifugal mixers. *Foods and Raw Materials*, 2015, vol. 3, no. 1, pp. 62–69. DOI: 10.12737/11239.

Дополнительная информация / Additional Information

Определение рациональных параметров работы барабанного смесителя на основе регрессионного анализа при получении сухой йогуртной основы / Д.М. Бородулин, В.Г. Будрик, М.Т. Шулбаева, А.В. Шафрай // Техника и технология пищевых производств. – 2016. – Т. 41. – № 2. – С. 84–90.

Borodulin D.M., Budrik V.G., Shulbaeva M.T., Shafrai A.V. Determination of rational parameters of the drum mixer operation based on the regression analysis when obtaning the dry yoghurt base. *Food Processing: Techniques and Technology,* 2016, vol. 41, no. 2, pp. 84–90 (in Russ.).

Бородулин Дмитрий Михайлович
д-р техн. наук, доцент, заведующий кафедрой технологического проектирования пищевых производств, ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)», 650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47,
тел.: +7 (3842) 39-68-37, e-mail: borodulin_dmitri@list.ru

Будрик Владислав Глебович
канд. техн. наук, лауреат премии Правительства РФ, руководитель Инжинирингового центра, заместитель директора по научной работе, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности», 115093, Россия, г. Москва, ул. Люсиновская, д. 35, корп. 7, тел.: +7 (499) 236-31-64, e-mail: v.g.budrik@gmail.com

Шулбаева Маргарита Терентьевна
канд. техн. наук, доцент кафедры технологического проектирования пищевых производств, ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)», 650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47, тел.: +7 (3842) 39-68-68, e-mail: sh-m-t@yandex.ru

Шафрай Антон Валерьевич
канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры технологического проектирования пищевых производств, ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)», 650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47, тел.: +7 (3842) 39-68-68, e-mail: shafraia@mail.ru

Dmitriy M. Borodulin
Dr.Sci.(Eng.), Associate Professor, Head of the Department of Technological Design of Food Production, Kemerovo Institute of Food Science and Technology (University), 47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia,
phone: +7 (3842) 39-68-37, e-mail: borodulin_dmitri@list.ru

Vladislav G. Budrik
Cand.Sci.(Eng.), Laureate of the RF Government Prize, Head of Engineering Center, Deputy Director for Science, All-Russia Dairy Research Institute, 35, Liusinovskaya Str., Moscow, 115093, Russia, phone: +7 (499) 236-31-64,
e-mail: v.g.budrik@gmail.com

Margarita T. Shulbaeva
Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor of the Department of Technological Design of Food Production, Kemerovo Institute of Food Science and Technology (University), 47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia,
phone: +7 (3842) 39-68-68, e-mail: sh-m-t@yandex.ru

Anton V. Shafrai
Cand.Sci.(Eng.), Senior Lecturer of the Department of Technological Design of Food Production, Kemerovo Institute of Food Science and Technology (University), 47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia,
phone: +7 (3842) 39-68-68, e-mail: shafraia@mail.ru