

УДК 543–1.06: 637.146.21

ИСКУССТВЕННЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В ОЦЕНКЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА НИЗКОАЛЛЕРГЕННЫХ КИСЛОМОЛОЧНЫХ НАПИТКОВ

Е.И. Мельникова, Н.В. Пономарева, Е.В. Богданова*

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
университет инженерных технологий»,
394036, Россия, г. Воронеж, пр. Революции, 19

*e-mail: ek-v-b@yandex.ru

Дата поступления в редакцию: 06.09.2016

Дата принятия в печать: 10.01.2017

Аннотация. Для получения кисломолочных напитков со сниженной остаточной антигенностью нами предложено применение гидролизата β -лактоглобулина, полученного с применением ферментных препаратов Flavorpro 750MDP и Promod 439L. При этом необходимо обеспечить нормируемые физико-химические и приемлемые органолептические показатели полученного кисломолочного напитка. Цель проведенных исследований – изучение возможности применения метода искусственных нейронных сетей для прогнозирования свойств, а также показателей качества и безопасности нормализованных молочных смесей, используемых для получения низкоаллергенных кисломолочных напитков. Органолептические характеристики и физико-химические свойства нормализованных смесей изучены с помощью сенсорометрического метода. С применением метода искусственных нейронных сетей адаптирован способ оценки показателей качества нормализованных смесей и кисломолочных напитков. Использована трехслойная нейронная сеть с 6 нейронами во входном слое, 12 нейронами во внутреннем слое и 4 нейронами в выходном слое по числу выходных параметров. Обучение сети осуществлялось с применением алгоритма обратного распространения ошибки. Полученные результаты свидетельствуют о том, что разработанная нейронная сеть прогнозирует основные характеристики нормализованных смесей с гидролизатом β -лактоглобулина с относительной погрешностью, не превышающей 2,6 % при прогнозировании содержания β -лактоглобулина, 3,9 % – при прогнозировании остаточной антигенности и 3,1 % – при прогнозировании титруемой кислотности и органолептических показателей. Этот способ применим и для оценки качества готовых продуктов и позволяет заменить традиционные методы анализа, действующие на предприятиях молочной отрасли.

Ключевые слова. Искусственные нейронные сети, оценка показателей качества, низкоаллергенные кисломолочные напитки

ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS FOR THE ASSESSMENT OF QUALITY INDICES OF LOW-ALLERGY FERMENTED MILK DRINKS

E.I. Mel'nikova, N.V. Ponomareva, E.V. Bogdanova*

Voronezh State University of Engineering Technologies,
19, Revolution Avenue, Voronezh, 394036, Russia

*e-mail: ek-v-b@yandex.ru

Received: 06.09.2016

Accepted: 10.01.2017

Abstract. The use of β -lactoglobulin hydrolysate produced with the use of Flavorpro 750MDP and Promod 439L enzyme preparations to obtain fermented milk drinks having reduced residual antigenicity has been suggested. It is necessary to provide normalized physical-chemical and acceptable organoleptic characteristics of resulting fermented milk drink. The purpose of the research is to study the possibility of applying the method of artificial neural networks for prediction of properties, quality indices and safety factors of normalized dairy mixes used to obtain low-allergenic fermented milk drinks. Organoleptic characteristics, physical and chemical properties of the normalized mixes have been studied with sensorymetric method. The method of evaluation of quality indices of normalized mixes and fermented milk drinks has been adapted using the method of artificial neural networks. Three-layer neural network with 6 neurons in the input layer, 12 neurons in the inner layer and 4 neurons in the output layer according to the number of output parameters has been used. The algorithm of back-propagation errors has been applied for training the network. The research results confirm that the obtained neural network predicts the main characteristics of normalized mixes with β -lactoglobulin hydrolysate almost accurately; the relative error does not exceed 2.6% when predicting β -lactoglobulin content, 3.9% when predicting residual antigenicity and 3.1% when predicting titratable acidity and organoleptic characteristics. This method is applicable for assessing the quality of finished goods and can replace the routine methods of analysis in force at the enterprises of dairy industry.

Keywords. Artificial neural networks, quality index evaluation, low-allergy fermented milk drinks

Введение

Для получения кисломолочных напитков со сниженной остаточной антигенностью нами предложено применение гидролизата β -лактоглобулина, полученного с применением ферментных препаратов Flavorpro 750MDP и Promod 439L [1]. При этом необходимо обеспечить нормируемые физико-химические и приемлемые органолептические показатели полученного кисломолочного напитка.

В производстве пищевых продуктов важное значение имеют экспресс-методы контроля показателей качества и безопасности сырья, полуфабрикатов и готовых продуктов [2, 3]. В последние десятилетия в анализе ароматов пищевых продуктов и напитков все большее значение приобретают сенсоры на основе различных преобразователей и сенсорные системы [4], характеризующиеся компактностью, воспроизводимостью и надежностью результатов, быстротой формирования аналитического сигнала, низкими пределами обнаружения, не требующие специальной подготовки персонала [5–7].

Обработку результатов данных, полученных с помощью массива сенсоров, в мультисенсорном анализе проводят, используя современные достижения в изучении искусственного интеллекта, в том числе методы распознавания веществ по характерным визуальным характеристикам («образам»), специфичным для данной газовой смеси (искусственные нейронные сети, корреляционный анализ, линейно-дискриминантный анализ), а также многопараметрические градуировки [8, 9]. Идентификацию «образов» осуществляют при установлении или прогнозировании свойств объекта, которые непосредственно не могут быть определены, но косвенно зависят от измеряемых показателей.

Искусственные нейронные сети (ИНС) – непараметрический и нелинейный метод обработки данных. В последние годы он востребован в различных областях аналитической химии, в частности в мультисенсорном анализе [10]. Зависимость конечного результата от качества одновременной обработки информации всеми звеньями сети является основной особенностью ИНС. Применение такого метода способствует значительному ускорению обработки информации при большом количестве межнейронных связей, становится возможной трансформация откликов в масштабе реального времени. Стойкость к ошибкам сети, возникающим на некоторых линиях (синапсах), вырабатывается только при большом количестве межнейронных соединений. Кроме того, нейронные сети способны к обучению и обобщению полученных знаний [11].

Нейроны состоят из трех элементов (рис. 1): умножители (синапсы), сумматор и нелинейный преобразователь. Взаимодействие между нейронами осуществляется с помощью синапсов, которые умножают входные сигналы x_j ($j = 1, 2, \dots, N$) на силу связи (вес синапса) w_{ij} , сигнал поступает в направлении от узла i к узлу j . Сигналы, поступающие по синаптическим связям от других нейронов и внешних входных сигналов, обобщаются сумматором, а результат сравнивается с пороговым значением w_{i0} . Преобразователь реализует нелинейную функцию одного аргумента (сигнала с выхода сумматора), называемую функцией активации и представляющую собой передаточную функцию нейрона [12].

В состав многослойной искусственной нейронной сети входят нейроны, расположенные на разных уровнях, причем помимо входного и выходного слоев имеется еще как минимум один внутренний (скрытый) слой. Они способны обрабатывать несколько входных сигналов (входные данные или выходные сигналы других нейронов). Однако каждый нейрон характеризуется только одним выходом, который является конечным результатом или входным сигналом для других нейронов [11–13].

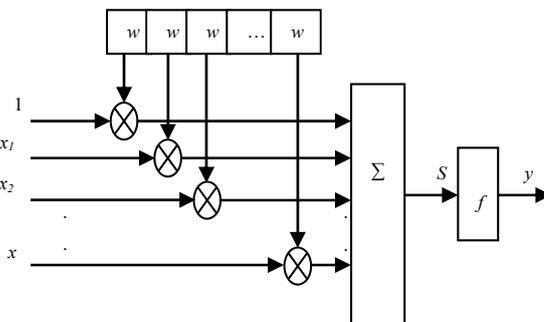


Рис. 1. Схематичное изображение искусственного нейрона [13]

При обучении нейронной сети осуществляют подбор таких значений весов нейронов w_{ij} скрытого и выходного слоев сети, чтобы при заданном входном векторе X получить на выходе сигналы y_j , которые с требуемой точностью совпадут с ожидаемыми значениями d_j для $j = 1, 2, \dots, M$. При разработке способов прогнозирования посредством ИНС входными сигналами являются временные ряды, представляющие значения контролируемых параметров в некотором интервале времени [10].

Цель проведенных исследований – изучение возможности применения метода ИНС для прогнозирования свойств, а также показателей качества и безопасности нормализованных молочных смесей, используемых для получения низкоаллергенных кисломолочных напитков.

Объекты и методы исследований

Органолептические характеристики и физико-химические свойства нормализованных смесей (табл. 1) были изучены с помощью сенсорометрического метода. Легколетучие осмофорические компоненты анализировали посредством отбора паров равновесных газовых фаз и последующего инжекторного ввода пробы в статическом режиме в мультисенсорную экспериментальную установку.

Таблица 1

Соотношения рецептурных ингредиентов в исследованных нормализованных смесях

Образец	Молочная смесь / гидролизат β -лактоглобулина, %	Массовая доля β -лактоглобулина, %	Массовая доля общего белка, %	Массовая доля истинного белка, %
1	90 : 10	0,29	3,2	3,06
2	80 : 20	0,25	3,2	2,93
3	70 : 30	0,22	3,2	2,72
4	60 : 40	0,20	3,2	2,37

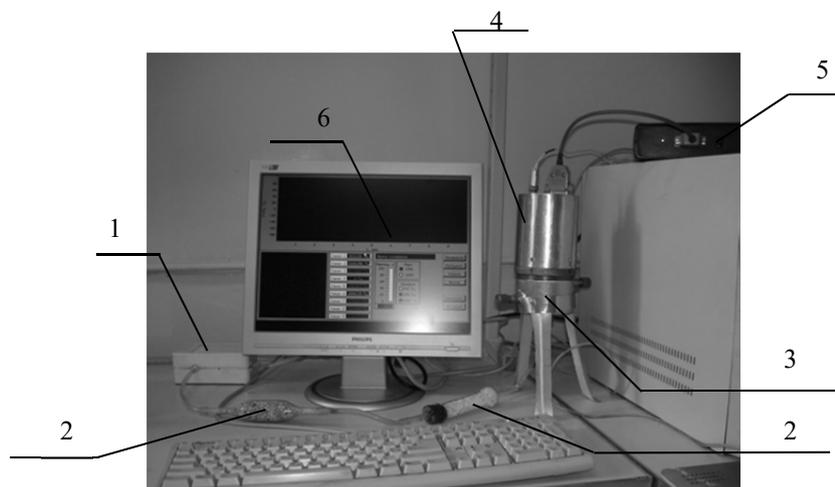


Рис. 2. Внешний вид мультисенсорной экспериментальной установки

Основные блоки мультисенсорной экспериментальной установки для газового анализа в статическом инжекторном режиме (рис. 2) представлены: насосом для воздуха при регенерации сорбента (1); системой осушки воздуха (2); ячейкой детектирования с 9 пьезосенсорами (3); генераторами колебаний в защитном кожухе (4); частотомером (5); персональным компьютером с соответствующим программным обеспечением (6). Регистрация и запись частот всех модифицированных пьезокварцевых резонаторов в виде файлов происходила одновременно.

Оригинальная мультисенсорная ячейка детектирования представляет собой корпус, изготовленный из нержавеющей стали в виде цилиндрического сосуда с герметично закручивающейся крышкой (по кругу расположены панели для 9 сенсоров) и съемным основанием [14]. Герметичность резьбового соединения крышки и основания с цилиндром обеспечивается посредством двух резиновых колец.

На корпусе мультисенсорной ячейки имеется три патрубка с герметично закрывающимися полиуретановыми прокладками и прижимными заглушками. Схематичное изображение ячейки детектирования мультисенсорной экспериментальной установки представлено на рис. 3.

Пьезоэлектрические кварцевые резонаторы АТ-среза (колебания типа «сдвиг по толщине») применены в качестве сенсоров, модифицированных тонкой пленкой сорбента. С целью обеспечения стабильных результатов и хорошей адгезии модификатора на поверхности применяли электроды с тонкой пленкой оксида алюминия, структура которого характеризовалась многочисленными порами и дефектами. АТ-срез кварца [срез под углом $(35,15 \pm 1)$] минимизировал влияние температуры [15].

Механически и термически прочные пластины α -кварца (SiO_2) с малым внутренним трением и стабильными электрофизическими параметрами [16] были применены в качестве трансдюсеров пьезокварцевых резонаторов. Это способствовало повышению метрологических характеристик датчиков на основе пьезоэлектрических кварцевых резонаторов.

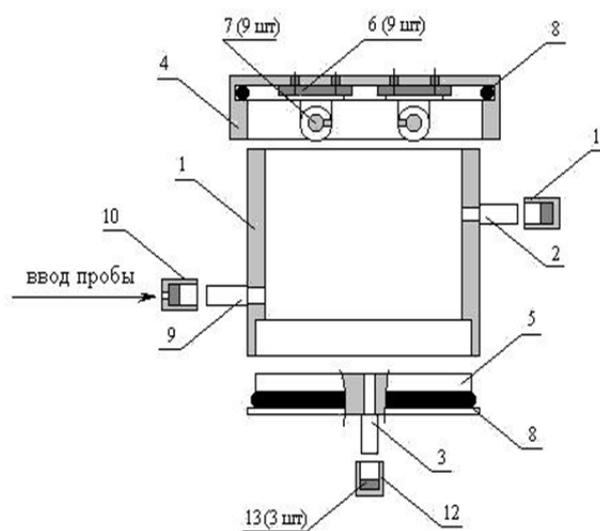


Рис. 3. Схематичное изображение ячейки детектирования мультисенсорной экспериментальной установки: 1 – полый цилиндр; 2 – патрубок для выхода воздуха при регенерации; 3 – патрубок для ввода пробы; 4 – крышка; 5 – съемное основание; 6 – панели для крепления шести сенсоров; 7 – сенсоры; 8 – резиновые уплотнительные кольца; 9 – патрубок для ввода пробы; 10 – прижимная заглушка с отверстием для прокола; 11, 12 – глухие прижимные заглушки; 13 – полиуретановые прокладки

Аналитический сигнал электродов пьезокварцевого резонатора был незначительным, поскольку их поверхность слабо адсорбировала исследуемые осмофорические вещества. Поэтому такую поверхность (диаметр 9 мм) с собственной частотой колебаний 8–10 МГц модифицировали равномерным нанесением раствора сорбентов с помощью микрошприца объемом 10 мкл с последующим удалением растворителя высушиванием при 40 °С в течение 30 мин. Это способствовало многократному усилению сигнала АТ-электродов пьезокварцевого резонатора в результате увеличения концентрации активных центров сорбента и возрастания энергии адсорбции на поверхности по сравнению с немодифицированным сенсором.

Электроды пьезокварцевых резонаторов модифицировали с применением стандартных неподвижных газохроматографических фаз с различной

полярностью, а также специфических сорбентов (табл. 2). В результате адсорбции на поверхности электродов образовывались тонкие и однородные по толщине пленки, устойчивые на воздухе (не окисляющиеся и не разлагающиеся). Для них характерны: сродство к сорбату, малая летучесть, механическая стабильность (это свойство способствует проведению большого числа экспериментов на одной пленке) и незначительные акустические потери, вносимые модификатором в резонансную систему сенсора (что обеспечивает получение пленок с высоким модулем упругости на поверхности Al-электродов [16]).

Таблица 2

Характеристика модификаторов пьезокварцевых резонаторов

Номер сенсора в массиве	Сорбент	Сорбируемое вещество
1	ТХ-100	Этанол
2	Рибонуклеиновая кислота	Диацетил, ацетонин
3	Трисоксиметиламинометан	Масляная, уксусная, каприновая и др. кислоты
4	Tween-40	Ацетальдегид
5	Сульфосалициловая кислота	Амины, пептиды, аминокислоты
6	Полиэтиленгликольсебацат (ПЭГСб)	Этилацетат, ацетон, метилэтилкетон, бутанол-1 и бутанол-2

В качестве растворителей модификаторов применяли дистиллированную воду, этиловый спирт, ацетон, толуол. Выбор этих веществ обусловлен соответствием следующим требованиям: летучесть, химическая инертность к сорбционным фазам, высокая растворяющая способность в отношении сорбента, отсутствие прочных сольватов.

9-канальный цифровой измерительный комплекс обеспечивал измерение и обработку сигналов сенсоров с применением ПК посредством подключения через последовательный интерфейс RS-232 С. Изменение частоты колебаний модифицированных сенсоров фиксировалось с промежутками в 1 с, одновременно данные выводились на монитор компьютера. В частотомере предусмотрен выбор выдержек измерения от 1 до 60 с.

Частотомер функционировал на базе микроконтроллера PIC16F628 фирмы MICROCHIP, который имел встроенную память программ, несколько таймеров-счетчиков и последовательный интерфейс. Микроконтроллер позволяет уменьшить габаритные размеры частотомера, благодаря чему он может быть использован как портативное (переносное) устройство. По окончании каждого цикла сенсорометрического анализа полученные результаты передавались группами, состоящими из четырех байтов, на ПК. Дальнейшая их обработка и хранение осуществлялись под управлением программы компьютера [17].

Перед измерениями проверяли стабильность работы сенсоров. Показателем стабилизации служил сдвиг частоты колебаний в течение 1 мин, не пре-

вышающий 5 Гц. Затем в мультисенсорную ячейку инжестировали пары равновесной газовой фазы анализируемого образца с помощью микрошприца. После измерения ячейку детектирования и пленочные покрытия регенерировали продувкой системы осушенным лабораторным воздухом.

Аналитические сигналы пьезосенсоров были получены в идентичных условиях в процессе их экспонирования в парах равновесных газовых фаз осмофорических компонентов. Условия проведения сенсорометрического анализа: объем вводимой пробы 2 см^3 , масса пленки сорбента на электродах $m_{пл} = 15 \pm 5 \text{ мкг}$, концентрация ароматобразующих веществ 10 мг/м^3 , температура в ячейке детектирования $20 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$. Образование большей по массе пленки модификатора приводит к увеличению погрешности анализа вследствие затухания колебаний объемной акустической волны в пленке сорбента [18].

Обработку полученных результатов проводили методами математической статистики по данным 5–10 опытов в трехкратной последовательности. Результаты экспериментальных исследований подтверждали нейросетевой аппроксимации, а также обработке с помощью программы «Анализ потока данных» [17].

Результаты и их обсуждение

С применением сенсорометрического анализа методом искусственных нейронных сетей в сочетании с компьютерной обработкой сигналов сенсоров разработан способ оценки показателей качества нормализованных смесей для низкоаллергенных кисломолочных напитков, который включал следующие операции:

- получение аналитических сигналов матрицы сенсоров при их одновременном экспонировании в многокомпонентной парогазовой смеси ароматобразующих веществ нормализованных смесей с гидролизатом β -лактоглобулина;
- обучение нейронной сети;
- проверка полученной модели по тестовой выборке.

Предварительное обучение нейронной сети обеспечивает корректные выходные сигналы. Этот процесс проводили по величинам аналитических сигналов матрицы пьезосенсоров с пленками сорбентов на электродах, полученным при одновременном экспонировании в парах равновесной газовой фазы нормализованных смесей.

Одновременно определяли наиболее значимые для технологического процесса показатели качества нормализованной смеси: титруемую кислотность проб, массовую долю β -лактоглобулина, остаточную антигенность, органолептические показатели. При обучении нейронной сети входными параметрами являлись результаты анализа физико-химических и органолептических свойств нормализованных смесей, а выходными – разность частот модифицированных сенсоров до и после сорбции.

Применяли трехслойную нейронную сеть (рис. 4) с 6 нейронами во входном слое по числу сенсоров в массиве, 12 нейронами во внутреннем

слое и 4 нейронами в выходном слое по числу выходных параметров. Обучение сети осуществляли с применением алгоритма обратного распространения ошибки.

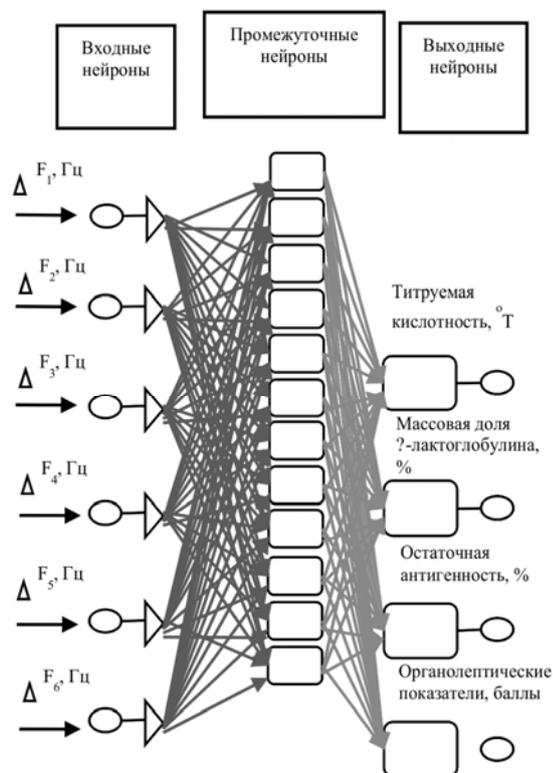


Рис. 4. Многослойный перцептрон, адаптированный к модели прогнозирования показателей качества исследуемых нормализованных смесей

Результаты обучения подтверждают, что полученная нейронная сеть прогнозирует основные характеристики нормализованных смесей с гидролизатом β-лактоглобулина с относительной погрешностью, не превышающей 2,6 % при прогнозировании содержания β-лактоглобулина, 3,9 % – при прогнозировании остаточной антигенности и 3,1 % – при прогнозировании титруемой кислотности и органолептических показателей (табл. 3). Этот способ применим и для оценки качества готовых продуктов.

ностью, не превышающей 2,6 % при прогнозировании содержания β-лактоглобулина, 3,9 % – при прогнозировании остаточной антигенности и 3,1 % – при прогнозировании титруемой кислотности и органолептических показателей (табл. 3). Этот способ применим и для оценки качества готовых продуктов.

Таблица 3
Сравнительная оценка результатов нейросетевой аппроксимации

Номер образца	Значение измеренного показателя с применением метода		Относительная погрешность, %
	традиционного	искусственных нейронных сетей	
Титруемая кислотность, °Т			
1	17,0	17,5	2,94
2	18,0	18,5	2,78
3	19,0	19,5	2,63
4	20,0	20,5	2,50
Массовая доля β-лактоглобулина, %			
1	0,286	0,292	2,10
2	0,256	0,259	1,17
3	0,223	0,228	2,24
4	0,198	0,203	2,53
Остаточная антигенность, %			
1	58,3	60,0	2,92
2	47,0	48,1	2,34
3	41,2	42,8	3,88
4	35,2	36,4	3,41
Органолептические показатели, баллы			
1	4,80	4,65	3,13
2	4,67	4,53	3,00
3	3,95	4,01	1,52
4	3,12	3,19	2,24

Таким образом, разработанный экспресс-способ позволяет установить органолептические свойства и стандартные показатели качества нормализованных смесей и готовых продуктов на их основе, заменить традиционные методы анализа, действующие на предприятиях молочной отрасли.

Список литературы

1. Пономарева, Н.В. Биоконверсия молочных белков для снижения остаточной аллергенности / Н.В. Пономарева, Е.И. Мельникова, Е.В. Богданова // Биотехнология. – 2015. – № 1. – С. 70 – 74.
2. Мельникова, Е.И. Микропартикуляты сывороточных белков как имитаторы молочного жира в производстве продуктов питания / Е.И. Мельникова, Е.Б. Станиславская // Фундаментальные исследования. – 2009. – № 57. – С. 23.
3. Изучение хранимоспособности молокосодержащего продукта сметанного типа / Л.В. Голубева, О.И. Долматова, Е.И. Бочарова, Ж.С. Долматова // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2012. – № 4 (54). – С. 90–91.
4. Химические сенсоры и их системы / Ю.Г. Власов, Ю.Е. Ермоленко, А.В. Легин, А.М. Рудницкая [и др.] // Журнал аналитической химии. – 2012. – Т. 65. – № 9. – С. 900–919.
5. Власов, Ю.Г. Электронный язык – системы химических сенсоров для анализа водных сред / Ю.Г. Власов, А.В. Легин, А.М. Рудницкая // Российский химический журнал (Журнал Российского химического общества им. Д.И. Менделеева). – 2008. – Т. LI. – № 2. – С. 101–112.
6. Кучменко, Т.А. Инновационные решения в аналитическом контроле / Т.А. Кучменко. – Воронеж: ВГТА, 2009. – 252 с.
7. Перспективы использования «электронного языка» в контроле бродительных производств / Р.А. Еникеева, П.С. Никаноров, А.В. Насоненко, В.А. Сергеева [и др.] // Известия СПбГТИ(ТУ). – 2015. – № 29. – С. 76–79.
8. System of piezosensors for prognostication of the storage life of food products / Ya.I. Korenman, E.I. Mel'Nikova, S.I. Niftaliev, S.E. Boeva, A.A. Selivanova, E.S. Rudnichenko, E.V. Bogdanova // Russian Journal of Applied Chemistry. – 2009. – Vol. 82. – no. 8. – P. 1380–1383. DOI: 10.1134/S1070427209080114.
9. Tang, Kea-Tiong. A Local Weighted Nearest Neighbor Algorithm and a Weighted and Constrained Least-Squared Method for Mixed Odor Analysis by Electronic Nose Systems / Kea-Tiong Tang, Yi-Shan Lin, Jyuo-Min Shyu // Sensors. – 2010. – No. 10. – P. 10467–10483; DOI: 10.3390/s101110467.

10. Рассел, С. Искусственный интеллект. Современный подход / С. Рассел, П. Норвиг. – М.: Вильямс, 2007. – 1410 с.
11. Korotcenkov, G. Chemical sensors: comprehensive sensor technologies [Text] / G. Korotcenkov.–Momentum Press, LLC, 2012. – 77 p.
12. Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин. – М.: Вильямс, 2016. – 1104 с.
13. Сенсорометрический анализ и нейросетевые технологии в оценке качества молокосодержащих продуктов / Е.И. Мельникова, Я.И. Коренман, С.И. Нифталиев, С.Е. Боева. – Воронеж: ВГТА, 2009. – 202 с.
14. Патент № 2288468 РФ. Универсальная пьезосорбционная ячейка детектирования / А.А. Киселев, С.И. Нифталиев, Я.И. Коренман, Е.И. Мельникова, С.Е. Светолунова // Изобретения. – 2006. – № 33. – Ч. I. – С. 318.
15. Партс, Я.А. Многочастотные пьезорезонансные датчики: принцип действия, способы построения, решаемые задачи / Я.А. Партс // Нелинейный мир. – 2009. – № 5. – С. 17–23.
16. Еремин, Н.И. Неметаллические полезные ископаемые / Н.И. Еремин. – М.: Изд-во МГУ, 2007. – 464 с.
17. Боева, С.Е. Анализ и оценка качества некоторых молокосодержащих продуктов / С.Е. Боева. – Дис. ... канд. хим. наук: спец. 02.00.02 – Аналитическая химия. – Воронеж, 2007. – 163 с.
18. Санина, М.Ю. Применение экспресс- и тест-методов в анализе природных объектов / М.Ю. Санина // Известия ВГПУ. – 2013. – Т. 260. – № 1. – С. 258–262.

References

1. Ponomareva N.V., Mel'nikova E.I., Bogdanova E.V. Biokonversiya molochnykh belkov dlya snizheniya ostatochnoy allergennosti [Bioconversion of dairy proteins to reduce the residual allergenicity]. *Biotekhnologiya*, 2015, no. 1, pp. 70–74.
2. Mel'nikova E.I., Stanislavskaya E.B. Mikropartikulyaty syvorotochnykh belkov kak imitatory molochnogo zhira v proizvodstve produktov pitaniya [Microparticulate whey protein as imitators of milk fat in food production]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental research], 2009, no. S7, p. 23.
3. Golubeva L.V., Dolmatova O.I., Bocharova E.I., Dolmatova Zh.S. Izuchenie hranimosposobnosti molokosoderzhashhego produkta smetannogo tipa [Study of storage life of sour-type milk product]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologiy* [Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies], 2012, vol. 54, no. 4, pp. 90–91.
4. Vlasov Yu.G., Ermolenko Yu.E., Legin A.V., Rudnitskaya A.M. et al. Khimicheskie sensory i ikh sistemy [Chemical sensors and their systems]. *Zhurnal analiticheskoy khimii* [Journal of analytical chemistry], 2012, vol. 65, no. 9, pp. 900–919.
5. Vlasov Yu.G., Legin A.V., Rudnitskaya A.M. Elektronnyy yazyk – sistemy khimicheskikh sensorov dlya analiza vodnykh sred [Electronic tongue is a system of chemical sensors for analysis of aquatic environments]. *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal* [Journal of the Russian chemical society. D. I. Mendeleev], 2008, vol LII, no. 2, pp. 101–112.
6. Kuchmenko T.A. *Innovatsionnye resheniya v analiticheskom kontrole* [Innovative solutions in analytical control]. Voronezh: VSTA Publ., 2009. 252 p.
7. Enikeeva R.A., Nikanorov P.S., Nasonenko A.V., Sergeeva V.A. et al. Perspektivy ispol'zovaniya «elektronnogo yazyka» v kontrole brodil'nykh proizvodstv [Prospects of using of «electronic tongue» in the control of fermentation industries]. *Izvestiya SPbGTI(TU)* [Bulletin of St PbSIT(TU)], 2015, no. 29, pp. 76–79.
8. Korenman Ya.I., Mel'nikova E.I., Niftaliev S.I., Boeva S.E., Selivanova A.A., Rudnichenko E.S., Bogdanova E.V. System of piezosensors for prognostication of the storage life of food products. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2009, vol. 82, no. 8, pp. 1380–1383. DOI: 10.1134/S1070427209080114.
9. Kea-Tiong Tang, Yi-Shan Lin, Jyuo-Min Shyu A Local Weighted Nearest Neighbor Algorithm and a Weighted and Constrained Least-Squared Method for Mixed Odor Analysis by Electronic Nose Systems. *Sensors*, 2010, no. 10, pp. 10467–10483. DOI: 10.3390/s101110467.
10. Rassel S., Norvig P. *Iskusstvennyy intellekt. Sovremennyy podkhod* [Artificial intelligence. A modern approach]. Moscow: Vil'yams Publ., 2007. 1410 p.
11. Korotcenkov G. *Chemical sensors: comprehensive sensor technologies*. Momentum Press, LLC, 2012. 77 p.
12. Khaykin, S. *Neural networks: full course* [Neural networks: a complete course]. Moscow: Williams Publ., 2016. 1104 p.
13. Mel'nikova E.I., Korenman Ya.I., Niftaliev S.I., Boeva S.E. *Sensorometricheskii analiz i neyrosetevye tekhnologii v otsenke kachestva molokosoderzhashchikh produktov* [Sensorometricheskyy analiz i neyrosetevye tekhnologii v otsenke kachestva molokosoderzhashchikh produktov] [Sensorometricheskyy analiz i neyrosetevye tekhnologii v the assessment of the dairy products quality]. Voronezh: VSTA Publ., 2009. 202 p.
14. Kiselev A.A., Niftaliev S.I., Korenman Ya.I., Mel'nikova E.I., Svetolunova S.E. *Universal'naya p'ezosorbtsionnaya yacheyka detektirovaniya* [Universal p'ezosorbtsionnaya cell of detection]. Patent RF, no. 2288468, 2006.
15. Parts Ya.A. *Mnogochastotnye p'ezorezonansnye datchiki: printsip deystviya, sposoby postroeniya, reshaemye zadachi* [Multifrequency piezoresonance sensors: principle of operation, methods of construction, solved problems]. *Nelineynyy mir* [Nonlinear world], 2009, no. 5, pp. 17–23.
16. Eremin N.I. *Nemetallicheskie poleznye iskopaemye* [Non-metallic minerals]. Moscow: MSU Publ., 2007. 464 p.
17. Boeva, S.E. *Analiz i otsenka kachestva nekotorykh molokosoderzhashchikh produktov. Dis. kand. khim. nauk* [Analysis and quality evaluation of some dairy-containing products. Cand. chem. sci. dis.]. Voronezh, 2007. 163 p.
18. Sanina, M. Yu., *Primenenie ekspress- i test-metodov v analize prirodnnykh ob"ektov* [Application express- and test-methods in analysis of natural objects]. *Izvestiya VGPU* [Izvestia of the VSU], 2013, vol. 260, no. 1, pp. 258–262.

Дополнительная информация / Additional Information

Мельникова, Е.И. Искусственные нейронные сети в оценке показателей качества низкоаллергенных кисломолочных напитков / Е.И. Мельникова, Н.В. Пономарева, Е.В. Богданова // Техника и технология пищевых производств. – 2017. – Т. 44. – № 1. – С. 152–158.

Mel'nikova E.I., Ponomareva N.V., Bogdanova E.V. Artificial neural networks for the assessment of quality indices of low-allergy fermented milk drinks. *Food Processing: Techniques and Technology*, 2016, vol. 43, no. 4, pp. 152–158 (In Russ.).

Мельникова Елена Ивановна

д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры технологии продуктов животного происхождения, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», 394036, Россия, г. Воронеж, пр. Революции, д. 19, тел.: +7 (473) 255-27-65, e-mail: melnikova@molvest.ru

Пономарева Неля Валерьевна

канд. техн. наук, ассистент кафедры технологии продуктов животного происхождения, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», 394036, Россия, г. Воронеж, пр. Революции, д. 19, тел.: +7 (473) 255-27-65, e-mail: secretar@molvest.ru

Богданова Екатерина Викторовна

канд. техн. наук, доцент кафедры технологии продуктов животного происхождения, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», 394036, Россия, г. Воронеж, пр. Революции, д. 19, тел.: +7 (473) 255-27-65, e-mail: ek-v-b@yandex.ru

Elena I. Mel'nikova

Dr. Sci.(Eng.), Professor, Professor of the Department of technology of animal products, Voronezh State University of Engineering Technologies, 19, Revolution Ave., Voronezh, 394036, Russia, phone: +7 (473) 255-27-65, e-mail: melnikova@molvest.ru

Nelya V. Ponomareva

Cand.Sci.(Eng.), Assistant of the Department of technology of animal products, Voronezh State University of Engineering Technologies, 19, Revolution Ave., Voronezh, 394036, Russia, phone: +7 (473) 255-27-65, e-mail: secretar@molvest.ru

Ekaterina V. Bogdanova

Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor of the Department of technology of animal products, Voronezh State University of Engineering Technologies, 19, Revolution Ave., Voronezh, 394036, Russia, phone: +7 (473) 255-27-65, e-mail: ek-v-b@yandex.ru

