

Совершенствование процесса выпаривания творожной сыворотки методом прямого нагрева при производстве быстрорастворимых напитков

Попов Анатолий Михайлович

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

Адрес: 650043, город Кемерово, ул. Красная, дом 6

E-mail: popov4116@yandex.ru

Турова Наталья Николаевна

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

Адрес: 650043, город Кемерово, ул. Красная, дом 6

E-mail: natalya_turova@inbox.ru

Стабровская Елена Игоревна

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

Адрес: 650043, город Кемерово, ул. Красная, дом 6

E-mail: helist@inbox.ru

Творожная сыворотка является перспективным ингредиентом для производства функциональных продуктов, в частности быстрорастворимых напитков. Специфические особенности механизма массопереноса веществ творожной сыворотки затрудняют применение в производственной практике традиционных выпарных аппаратов и диктуют задачу поиска новых и модернизации существующих методов получения концентрированной творожной сыворотки. Целью данной работы является совершенствование процесса выпаривания творожной сыворотки методом прямого нагрева при производстве быстрорастворимых гранулированных напитков. Большая часть исследований выполнена на базе научно-исследовательских лабораторий Кемеровского государственного университета. В качестве объекта исследования использовали творожную сыворотку, выработанную на ООО «Анжерское молоко» (Кемеровская обл., г. Анжеро-Судженск) в соответствии с требованиями ГОСТ 34352-2017, и общепринятые методики оценки экспериментальных данных. В процессе выполнения работы экспериментальным путем установлено, как изменяются органолептические, физико-химические свойства, витаминный состав и микробиологические характеристики творожной сыворотки в результате температурного воздействия, а также установлена взаимосвязь электропроводности с концентрацией сухих веществ и активной кислотностью при различных температурных режимах. Руководствуясь полученными результатами и материалами предварительных исследований, подобран рациональный режим работы опытно-промышленной установки для концентрирования сыворотки, с учетом наилучшего качества получаемого продукта и возможности его использования в пищевой промышленности. Сделан вывод о том, что прямой электронагрев оказывает меньшее негативное воздействие на нативные свойства исходной творожной сыворотки, а изменение электропроводности позволяет контролировать кислотность сыворотки, а также делает возможным автоматизацию контроля за содержанием сухих веществ и процессом пенообразования при выпаривании методом прямого электронагрева. На базе разработанного аппарата адаптирована технологическая схема производства быстрорастворимых гранулированных напитков, содержащая типовые технологические процессы, увязанные между собой с помощью системы машин во времени и в пространстве.

Ключевые слова: творожная сыворотка; прямой электронагрев; электроды; выпаривание; рациональные параметры; быстрорастворимый напиток

Введение

Анализ достижений в области производства быстрорастворимых напитков говорит о том, что технология приготовления сухих

продуктов, осуществляемая с наименьшими эксплуатационными затратами и капитальными вложениями, является оптимальным вариантом производства конечного продукта. Осуществление такой технологии возможно на основе производства сухих продуктов в гранулах с добавлением концентрированной (сгущенной) творожной

сыворожки, которая является перспективным ингредиентом, так как относится к натуральному молочному белково-углеводному сырью и обладает высокой пищевой и биологической ценностью (Кравченко, 2011, с. 201-202; Храмцов, 2009, с. 356-357).

Специфические особенности механизма массопереноса веществ творожной сыворотки затрудняют применение в производственной практике традиционных аппаратов для ее концентрирования и диктуют задачу поиска новых и модернизации существующих методов получения концентрированной творожной сыворотки.

Процесс выпаривания используется при производстве большого количества продукции и широко распространен в различных отраслях промышленности. Для концентрирования творожной сыворотки используют вакуум-выпарные аппараты, где в качестве теплоносителя выступает вода или пар. Данные единицы оборудования характеризуются высоким расходом греющего пара, значительными энергозатратами и низким коэффициентом полезного действия (Турова, 2016, с. 3-4).

Анализ работ зарубежных ученых и ученых РФ в области применения прямого электронагрева, которые направлены на его использование в химической промышленности, а также для обработки пищевых продуктов, содержащих большие частицы, определил возможность применения его в вакуум-выпарном аппарате для концентрирования творожной сыворотки (Shiby Varghese, 2014, p. 2308-2313; Stancl, 2010, p. 437-440; Тихонов, 2013 с. 12-14).

Электрический ток при этом позволяет заменить простой нагрев, потому что теплота генерируется в самом продукте, а не на электродах. Данное явление дает возможность увеличения энергоэффективности производственного процесса, обеспечивая сохранность нативных свойств творожной сыворотки, а также ее высокое качество. Температура обработки в данном случае может быть относительно низкая, а производственный процесс непрерывным и контролируемым.

Таким образом, модернизация производств за счет внедрения инновационного оборудования и использования натуральных продуктов животного происхождения является актуальной задачей развития науки и техники.

Литературный обзор

Творожная сыворотка является натуральным молочным белково-углеводным сырьем. Она неустойчива при хранении и имеет относительно низкую концентрацию сухих веществ. Однако благодаря своему ценному составу, творожную сыворотку используют в качестве ингредиента быстрорастворимых напитков, но при этом ее прежде перерабатывают, а именно сгущают или концентрируют.

Концентрирование сыворотки проводится различными способами: (Гаврилов, 2009, с. 26-29; Гаврилов, 2012, с. 31; Короткий, 2014, с. 148-153; Панченко, 2010, с. 13-14) выпаривание, криогенное концентрирование, электрохимический способ и мембранные способы.

Выбор способа обработки творожной сыворотки и степени ее концентрирования обуславливается ее начальными характеристиками и требованиями к качеству конечного продукта.

На практике установлено, что выпаривание при атмосферном давлении и температуре более 100°C, не позволяет получить творожную сыворотку высокого качества. Кроме того, данный режим тепловой обработки приводит к карамелизации лактозы.

Чтобы сохранить нативные свойства творожной сыворотки ее нужно обрабатывать при минимальной температуре. Руководствуясь термической устойчивостью компонентов, оптимальной температурой концентрирования является 55-65°C. Такой температуры кипения можно достичь при создании разрежения 1,15-2 Па. При этом процесс протекает достаточно интенсивно и с минимальными потерями, однако не исключает процесс пенообразования (Stancl, 2010, p. 441-444; Турова, 2015, с. 22-23).

В настоящее время концентрирование под вакуумом осуществляется в испарителях, имеющих различную конструкцию. Однако наибольшее применение наши роторно-испарительные аппараты, так как в них испарение происходит из тонкого слоя жидкости, что в свою очередь ускоряет процесс и позволяет уменьшить время контакта перерабатываемой среды с теплообменной поверхностью. В качестве теплоносителя в данном случае выступает вода или пар. Несмотря на имеющиеся плюсы, роторно-испарительные аппараты имеют ряд минусов, а именно: малая

поверхность испарения, низкий коэффициент использования рабочего объема аппарата, сложность в изготовлении и эксплуатации, а также высокий расход теплоносителя, значительные энергозатраты и низкий коэффициент полезного действия.

При выпаривании творожной сыворотки в подобных аппаратах происходит денатурация белка, частично или полностью. Во время обогрева сыворотки в нагревающих агрегатах возникают области трудноудаляемого нагара, что приводит к износу оборудования, вследствие коррозии греющих стенок (Попов, 2015, с. 2125). Для решения проблем, которые возникают при выпаривании сыворотки в вакуум-выпарном аппарате, был проведен анализ работ зарубежных ученых и некоторых ученых РФ в области применения прямого электронагрева (Shiby Varghese, 2014, р. 2313-2317; Stancl, 2010, р. 440-444), которые направлены на его использование в химической промышленности, а также для обработки пищевых продуктов, содержащих большие частицы, который, в свою очередь, определил возможность применения его в вакуум-выпарном аппарате для концентрирования творожной сыворотки. Кроме того данный способ способен снизить затраты и время на приготовление концентрированной творожной сыворотки с выходом полуфабриката отвечающего требованиям безопасности и показателям качества, что особенно актуально для малотонажных производств.

На практике прямой электрический нагрев растворов осуществляется посредством электродов, размещенных в особых устройствах – греющих камерах. Конструкция электродных греющих камер различается видом используемого тока (переменный и постоянный) и расположением электродов: плоскопараллельные, радиальные, коаксиально – цилиндрические, а также по мощности. Согласно исследованиям, представленных в работах (Остертак, 2009, с. 15-16; Попов, 2015, с. 126-127; Tikhonov, 2014, р. 414-415; Shiby Varghese, 2014, р. 2314-2316) использование постоянного тока не обеспечивает концентрирование творожной сыворотки из-за процесса электролиза. Применение же переменного тока для прямого нагрева творожной сыворотки позволит качественно осуществить процесс концентрирования без каких-либо побочных изменений ее свойств. Что касается расположения электродных пар, то наиболее целесообразно использование плоскопараллельного расположения трех электродов. Этот выбор основан на том, что в данном случае нет необходимости

брать в расчет размер греющей камеры, потому что она не является нагревательным элементом. Главное преимущество в данной схеме – отсутствие неравномерного распределения плотности тока по поверхностям электродов и их коррозии в местах соприкосновения с изоляторами (Турова, 2016, с. 32-33).

Теоретическое обоснование

Поиск конструктивных решений, способных снизить затраты и время на приготовление концентрированной творожной сыворотки не приносит значительных результатов, и зачастую применим в основном к крупнотоннажным производствам. А у малого бизнеса, такого как, к примеру, частное предприятие, нет возможности выбрать самый экономически выгодный метод для окупаемости затрат. Им намного легче и экономичней купить сырье-полуфабрикат у крупного производителя и приготовить свою готовую продукцию. В большинстве случаев – это сырье далеко не самого отличного качества по характеристикам безопасности и полезности для организма потребителя. Применение прямого нагрева электрическим током, для концентрирования творожной сыворотки, является технически наиболее совершенным, экономически более эффективным и рентабельным, а конструкции нагревательных установок наиболее просты и удобны в эксплуатации по сравнению с другими установками, применяемыми для концентрирования творожной сыворотки.

Таким образом, проведенный анализ современного состояния исследований по рассматриваемой проблеме определяет цель настоящей работы – совершенствование процесса выпаривания творожной сыворотки методом прямого нагрева при производстве быстрорастворимых гранулированных напитков.

В соответствии с поставленной целью в настоящем исследовании решались следующие основные задачи:

- изучить влияние процессов концентрирования творожной сыворотки с использованием прямого нагрева на органолептические, микробиологические, физические и химические характеристики;
- исследовать влияние технологических параметров на закономерности концентрирования творожной сыворотки методом прямого нагрева;
- разработать техническое задание на

конструирование вакуум-выпарного аппарата с вынесенной греющей камерой.

Гипотезы:

1. Предполагаем, что возможно применение прямого электронагрева и оперативное управление процессом концентрирования творожной сыворотки в выпарных аппаратах электродного типа с асептическим влиянием электронагрева на творожную сыворотку и его меньшее разрушающее воздействие на белок исходного продукта.
2. Предполагаем, что существует зависимость электропроводности от концентрации сухих веществ и активной кислотности творожной сыворотки при различных температурах, благодаря которой возможно определить рациональные технологические параметры концентрирования творожной сыворотки в аппаратах с прямым электронагревом.
3. Предполагаем возможность разработки технического задания на конструирование вакуум-выпарного аппарата с вынесенной греющей камерой для малотоннажных производств с созданием и внедрением на производство ООО НПО «Здоровое питание» аппарата производительностью 100 л выпаренной влаги в час для промышленного использования.

Исследование

Большая часть исследований выполнена на базе научно-исследовательских лабораторий Кемеровского государственного университета. Опытно-промышленные партии продукта вырабатывались на предприятии ООО НПО «Здоровое питание» (г. Кемерово).

Объектом исследования являлась творожная сыворотка, выработанная ООО «Анжерское молоко» (Кемеровская обл., г. Анжеро-Судженск) в соответствии с требованиями (ГОСТ 34352-2017).

В Таблице 1 представлены основные характеристики объекта исследования.

В работе применяли современные органолептические, физико-химические, микробиологические методы исследований творожной сыворотки.

Забор проб творожной сыворотки, приготовление их к анализу производили по (ГОСТ 26809-86.1-2014).

Весь цикл исследований состоял из нескольких этапов.

На первом этапе было исследовано длительное воздействие электрического тока на свойства творожной сыворотки при атмосферном давлении и установлено влияние температуры электронагрева на физико-химические показатели сыворотки. При различных температурах творожная сыворотка оценивалась по массовой доле сухих веществ, белку, активной кислотности, динамической вязкости и плотности в полученных опытных образцах.

Массовую долю сухих веществ в сыворотке определяли рефрактометрическим методом по (ГОСТ 33957-2016). Метод основан на измерении показателя преломления, меняющегося в зависимости от массовой доли сухих веществ в анализируемой продукции в диапазоне значений от 5% до 15%, при помощи рефрактометра, фиксирующего преломление луча света в момент перехода из одной среды в другую (одна среда - стеклянная призма, другая - продукция).

Таблица 1

Основные характеристики объекта исследования

Наименование показателя	Значения
Внешний вид и консистенция	Однородная жидкость, без осадка
Цвет	Бледно - зеленый
Вкус и запах	Кисловатый
Массовая доля сухих веществ, %	5,6
Активная кислотность, pH	4,2
Плотность, кг/м ³	1021
Вязкость, 10 ⁻³ Па·с	1,43
КМАФАнМ, КОЕ/см ³	4,3x10 ⁴
Объем продукта (см ³), в котором не допускается: БГКП	0,01

Массовую долю белка в сыворотке определяли по (ГОСТ 25179-2014) с использованием калориметрического метода, который основан на способности белков творожной сыворотки при pH ниже изоэлектрической точки связывать кислый краситель, образуя с ним нерастворимый осадок, после удаления которого измеряют оптическую плотность исходного раствора красителя относительно полученного раствора.

Активную кислотность измеряли на потенциометрическом анализаторе по (ГОСТ Р 53359-2009). Метод основан на измерении разности потенциалов между двумя электродами, погруженными в пробу.

Динамическую вязкость определяли с помощью ротационного вискозиметра «Rheotec». Плотность сыворотки оценивали с помощью ареометра по (ГОСТ 54758-11).

На втором этапе исследований была выявлена зависимость изменения витаминного состава творожной сыворотки от прямого электронагрева.

Концентрацию витаминов группы В и С определяли, руководствуясь методикой (М 04-41-2005). Метод измерений основан на извлечении свободных форм водорастворимых витаминов из образцов, разделении, идентификации и определении массовых долей (массовых концентраций) витаминов в кварцевом капилляре под действием приложенного электрического поля методом капиллярного электрофореза на приборе Капель-105М «Люмэкс».

На третьем этапе определили воздействие прямого электронагрева на микробиологические показатели творожной сыворотки.

Микробиологические показатели определяли с учетом требований, указанных в (СанПиН 2.3.2.1078-01). Бактерии группы кишечных палочек, КМАФАнМ по (ГОСТ 32901-2014).

На четвертом этапе была выявлена зависимость электропроводности творожной сыворотки от ее концентрации сухих веществ и активной кислотности. Руководствуясь планом исследований, было подобрано стандартное лабораторное оборудование и создана полупромышленная установка на ООО «Здоровое питание». Образец был представлен в виде установки с тремя плоскопараллельными электродами (Рисунок 1). Данная конструкция была выбрана как наилучшая, согласно предварительным исследованиям

(Турова, 2016, с. 63-66).

В центральной части аппарата установлены три плоскопараллельных электрода различной длины. Они отодвинуты на максимально большую длину и располагаются у стенок аппарата. На электроды, которые расположены у стенок аппарата, нанесен диэлектрический слой из селена с наружной стороны. Через блок приборов на контрольно-измерительном стенде электродная пара подключена к источнику электроэнергии. Электроды выполнены из нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т (Тихонов, 2013, с 11-12; Роров, 2014, р. 410-411; Пат. № 2479062 РФ).

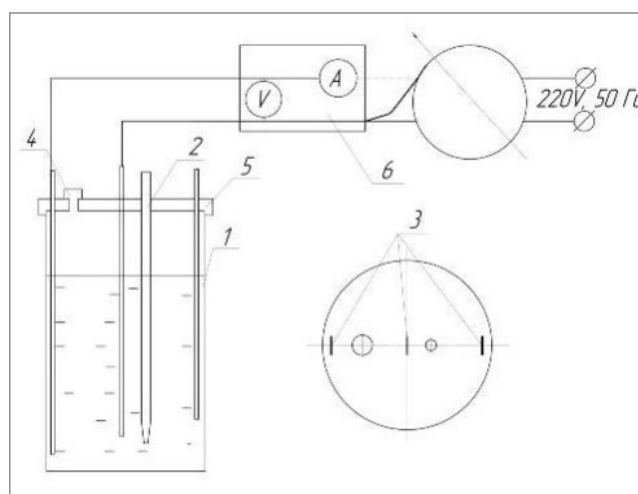


Рисунок 1. Схема экспериментальной установки:

1 – емкость для исходного продукта; 2- электронный термометр; 3 – электродная пара; 4 – клапан для сброса водяного пара; 5 – крышка из пластика с уплотнителем; 6 – контрольно-измерительный стенд.

Исследования были проведены при различных температурах с трехкратным повторением. В емкость аппарата загружали исходное сырье (творожную сыворотку), закрывали крышку. Через стенд подавали напряжение, температурный режим устанавливали 40°C и контролировали его при помощи электронного регулятора и термометра, также осуществляли контроль вольтамперных характеристик процесса. Расход смеси в объеме аппарата контролировали в зависимости от показаний градуировки и контрольных измерительных весов. Выдерживали творожную сыворотку в течение одного часа, затем отключали аппарат, открывали крышку и сливали в пробирку для дальнейшего проведения исследований, согласно плану исследования. Затем повторяли данные операции при температурах 50, 60, 70 и 80°C.

Результаты

В ходе проведения эксперимента было исследовано влияние температуры электронагрева на физико-химические показатели творожной сыворотки. Результаты эксперимента представлены в Таблице 2.

В ходе исследований была выявлена зависимость изменения витаминного состава творожной сыворотки от прямого электронагрева, полученные данные представлены на Рисунке 2 а, б.

Воздействие прямого электронагрева на микробиологические показатели творожной сыворотки полностью определило пригодность применения продукта к дальнейшей переработке. Результаты исследований представлены в Таблицах 3,4.

В ходе проведения исследований была выявлена зависимость удельной электропроводности от содержания сухих веществ в творожной сыворотке, а также взаимосвязь электропроводности сыворотки с ее активной кислотностью. Результаты исследований представлены на Рисунке 3 и 4.

Проведенные исследования полностью определили пригодность применения прямого электронагрева для концентрирования творожной сыворотки, они показали влияние различных режимов на качество конечного продукта.

Дальнейшие исследования были направлены на получение качественной стуженной сыворотки в вакуум-выпарном аппарате с вынесенной греющей камерой.

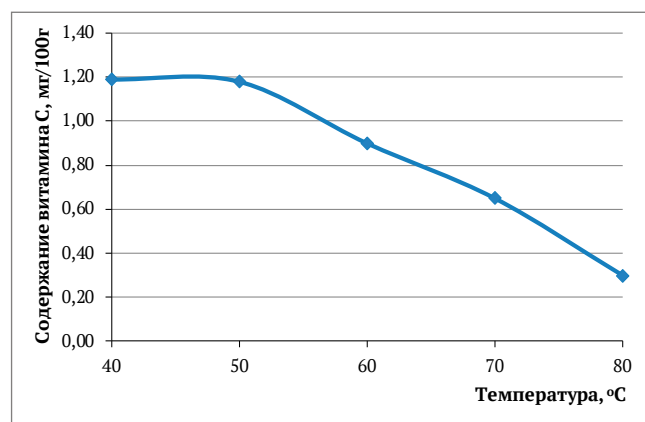
Обсуждение

Анализ результатов показал, что при нагревании творожной сыворотки более 50°C наступает процесс агломерации глобул белка, который говорит о начале денатурации белковой молекулы. Сыворотка при этом становилась более прозрачной, однако данное явление не сопровождалось налипанием белка на поверхность теплообмена, благодаря выбранному расположению электродов. Воздействие электрического тока, с повышением температуры при этом обеспечивает незначительное увеличение доли сухих веществ творожной сыворотки, за счет чего возрастает и

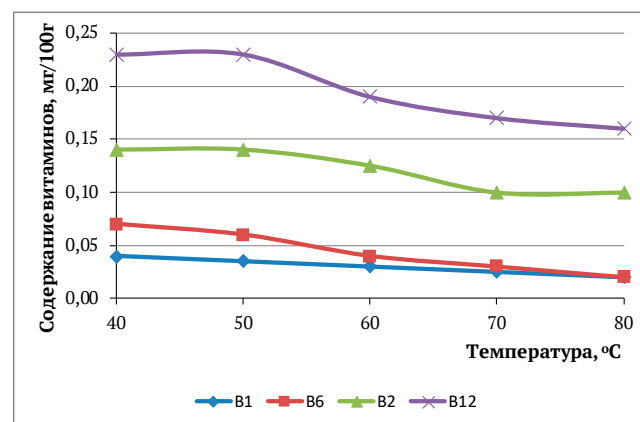
Таблица 2

Влияние температуры электронагрева на физико-химические показатели творожной сыворотки

Температура электронагрева, °C	Массовая доля сухих веществ, %	Массовая доля белка г/100см ³	Активная кислотность, pH	Вязкость, 10 ⁻⁵ Па·с	Плотность, кг/м ³
40	5,6	0,84	4,7	1,42	1021
50	5,7	0,85	4,8	1,40	1022
60	5,9	0,86	4,9	1,38	1023
70	6,10	0,86	5,0	1,35	1024
80	6,11	0,86	5,1	1,34	1024



(а) витамин С



(б) витамины группы В

Рисунок 2. Зависимость изменения витаминного состава творожной сыворотки от температуры прямого электронагрева

Таблица 3

Микробиологические изменения в сыворотке при ее термической обработке (перегретым паром в сравнении с электрическим током, до температуры 40°C)

Время обработки, мин	КМАФАнМ, 10 ⁵ КОЕ/см ³	
	Перегретый пар	Прямой электронагрев
0	43	43
15	115	52
30	5900	65
45	9750	72
60	22500	80

Таблица 4

Микробиологические изменения в сыворотке при ее термической обработке (электрическим током)

Время обработки мин	КМАФАнМ, 10 ⁵ КОЕ/см ³		
	Выдерживание при 50°C	Выдерживание при 60°C	Выдерживание при 70°C
0	43	43	43
15	33	28	7
30	20	12	2
45	4	3	1
60	3	3	1

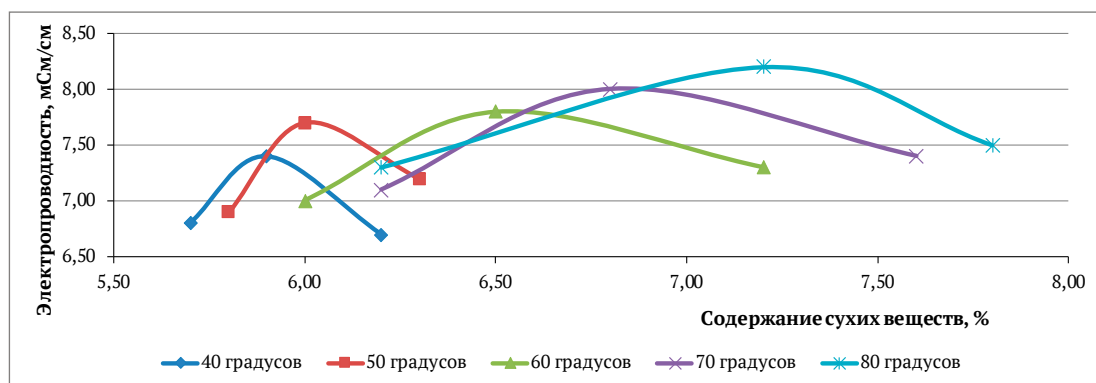


Рисунок 3. Зависимость электропроводности от содержания сухих веществ в творожной сыворотке при термической обработке.

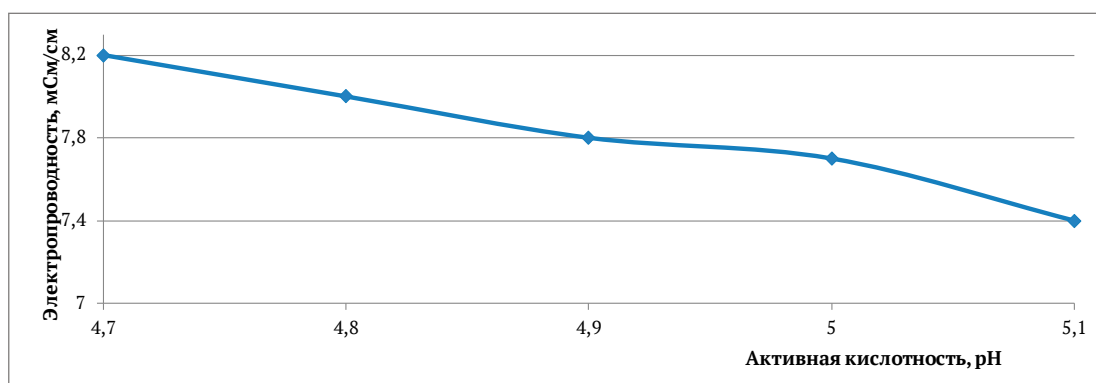


Рисунок 4. Зависимость электропроводности от активной кислотности творожной сыворотки при термической обработке.

содержание белка (Таблица 2). При температуре более 60°C процесс стабилизируется, что напрямую связано с денатурацией белковой молекулы.

Теряя устойчивость, денатурированные белки образуют хлопья (температура 65-70°C) и медленно выпадают в осадок. Температура 50-65°C является порогом денатурации сывороточных белков, а при 75-80°C наблюдается видимая коагуляция.

Так, температурный предел, который позволяет избежать денатурацию и налипание сывороточных белков на поверхности электродов является температура 55±2°C.

Активная кислотность с повышением температурного режима увеличивается. Вязкость сыворотки уменьшается, а плотность возрастает с повышением содержания сухих веществ, находясь в прямой зависимости от кратности концентрирования.

Витамины С, В1, В6, В12 (Рисунок 2 а, б) при увеличении температурного режима обработки разрушались. Характер изменения витаминного состава аналогичен исследованиям, проведенным в работах (Храмцов, 2009, с. 211-212; Храмцов, 2011, с. 434-435). К тепловому воздействию оказался устойчив витамин В2. Вместе с концентрированием красящих веществ, витамин В2 определяет цвет творожной сыворотки, который изменялся от бледно-желтого до бледно-зеленого. В соответствии с изменениями концентрации лактозы и минеральной части сыворотки, в результате воздействия температуры формировался и вкус продукта: при температуре от 40 до 50°C он был сладко-соленый, от 60 до 70°C - кисло-сывороточный и при температуре 80°C - солоноватый.

При нагревании творожной сыворотки греющим паром до температуры 40°C бактериальная обсемененность повышается на четыре порядка (Турова, 2015, с. 23-24), (Таблица 3). При той же температуре, но с использованием электрического тока обсемененность увеличивается в пределах нормы (максимальное значение по СанПиН - 105). При нагревании электрическим током от 50 до 70°C бактериальная обсемененность снижается на один порядок (Таблица 4). Таким образом, прямой электронагрев уменьшает активность микроорганизмов в сыворотке под воздействием тепла и электрического тока, исключая рост вредоносных пищевых микроорганизмов (объем продукта (см³), в котором не допускается: БГКП - 0,01), оказывая асептическое воздействие, что

в свою очередь определяет срок ее хранения при температуре от (-2 до +8°C) до 2 месяцев.

Чтобы при концентрировании обеспечить сохранность нативных свойств компонентов творожной сыворотки необходимо поддерживать более низкие температуры ее обработки. Руководствуясь термической устойчивостью компонентов сыворотки и бактериальной обсемененностью, максимальной температурой концентрирования (сгущения) является температура не более 55°C.

В ходе проведения исследований была выявлена зависимость удельной электропроводности от содержания сухих веществ в творожной сыворотке (Рисунок 3), которая имеет экстремальный характер с ярко выраженным максимумом, сдвигающимся с увеличением температуры в сторону большей концентрации. Это происходит, потому что при небольших концентрациях электропроводность растет из-за увеличения количества носителей зарядов. Расстояние между ионами и молекулами растворителя одновременно уменьшается. Так как растворитель является полярным, то сказывается кулоновское взаимодействие между ионами и молекулами растворителя. Исходя из закона Кулона, сила взаимодействия зарядов является обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними и при небольших расстояниях она резко увеличивается. В итоге, начиная с некоторой концентрации, ион растворенного вещества, оказывается окруженным слоем молекул растворителя.

Наблюдаемые на Рисунке 4 участки падения электропроводности обусловлены повышающейся кислотностью сыворотки. На основании чего сделан вывод о том, что кислотность вносит определяющий вклад в электропроводность сыворотки. Эта взаимосвязь имеет линейный характер, который справедлив для тех случаев, когда напряженность электрического поля остается постоянной.

Так изменение электропроводности позволяет контролировать кислотность сыворотки, а также дает возможность автоматизированного контроля за содержанием сухих веществ при выпаривании методом прямого электронагрева.

Для исследования процесса выпаривания творожной сыворотки под вакуумом был предложен аппарат электродного типа с вынесенной греющей камерой для концентрирования жидкостей (Пат. № 160649 РФ), принципиальная схема которого представлена на Рисунке 5.

По результатам исследований оптимальной температурой сгущения будет 50°C (при давлении 0,04 Мпа), плотность тока при этом не должна превышать $2,5 \text{ А/см}^2$. В данном диапазоне возможно добиться необходимого содержания сухих веществ в творожной сыворотке, а именно $40 \pm 2\%$, которое позволит использовать сыворотку в получении быстрорастворимых гранулированных напитков (Тихонов, 2013, с. 16; Турова, 2016, с. 66-67).

В Таблице 5 представлены основные свойства сгущенной творожной сыворотки с содержанием сухих веществ 40% (время выпаривания 2 часа).

Чтобы предотвратить вспенивание творожной сыворотки, были определены рекомендации для системы автоматического управления выпарным аппаратом по максимально допустимому изменению силы тока и температуре. Для обеспечения безопасности работы электродного

аппарата, плотность тока на электродах не должна превышать $2-2,5 \text{ А/см}^2$. Данное значение при переменном токе позволяет исключить процесс электролиза. Общая площадь трех электродов была определена в $1,08 \text{ м}^2$, следовательно, сила тока не должна превышать 2,7 А. В ходе проведенных исследования было выявлено, что при нагревании сыворотки более 60°C на поверхностях электродов интенсивно выделяется белок, что сопровождается вспениванием творожной сыворотки, а при температуре $75-80^{\circ}\text{C}$ наблюдается коагуляция белка, поэтому чтобы исключить данные явления температура должна быть не более 55°C .

На базе аппарата для выпаривания разработана технологическая схема производства быстрорастворимых гранулированных напитков, содержащая типовые технологические процессы, увязанные между собой с помощью системы машин во времени и в пространстве.

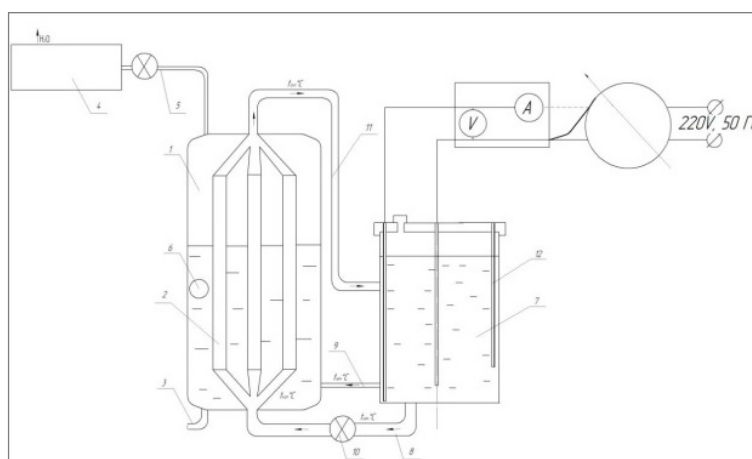


Рисунок 5. Схема вакуум-выпарного аппарата электродного типа с вынесенной греющей камерой:

1 – корпус вынесенной греющей камеры; 2 – нагревательные элементы; 3 – сливной штуцер; 4 – емкость для конденсата; 5, 8, 9, 11 – патрубки; 6 – датчик фиксирующий начало пенообразования; 7 – аппарат прямого электронагрева; 10 – насос; 12 – плоскопараллельные электроды различной длины.

Таблица 5

Основные показатели сгущенной творожной сыворотки, $C_{\text{сух в-в}} = 40\%$

Наименование показателя	Значение
Внешний вид, консистенция	Однородная, текучая жидкость
Вкус и запах	Чистый кисломолочный, слегка соленый, без посторонних привкусов
Цвет	Светло-желтый с зеленоватым оттенком
Активная кислотность, pH	3,2
Массовая доля белка, г/100мл	5,6
Плотность, кг/м ³	1185
Вязкость, 10-3 Па·с	2,5
КМАФАнМ, КОЕ/см ³	$1,8 \times 10^3$
Объем продукта (см ³), в котором не допускается: БГКП	0,01

Выводы

В результате проведенных исследований установлено влияние прямого электронагрева на органолептические, физико-химические и микробиологические характеристики творожной сыворотки. Доказано асептическое влияние прямого электронагрева на творожную сыворотку и его меньшее разрушающее воздействие на белок исходного продукта. Экспериментально установлена зависимость электропроводности творожной сыворотки от концентрации сухих веществ и активной кислотности, что позволяет автоматизировать контроль за содержанием сухих веществ и процессов пенообразования при выпаривании. Разработано техническое задание на конструирование вакуум-выпарного аппарата с вынесенной греющей камерой для малотоннажных производств на который получен патент РФ на полезную модель, создан и внедрен на производство ООО НПО «Здоровое питание» аппарат производительностью 100 л выпаренной влаги в час для промышленного использования и подобраны рациональные параметры сгущения, а именно температура - 50°C, при плотности тока не более 2,5 А/см².

Литература

- Гаврилов Г.Б. Выбор мембранных методов обработки сыворотки: с чего начать. Молочная промышленность, 2012, № 2, С. 38.
- Гаврилов Г.Б. Закономерности мембранного концентрирования сывороточных белков. Техника и технология пищевых производств, 2009, № 1, С. 26-29.
- Гаврилов Г.Б., Кравченко Э.Ф. Пути рационального использования молочной сыворотки. Сыроделие и маслоделие, 2013, № 2, С. 10-13.
- ГОСТ 54758-11 Молоко и молочные продукты. Методы определения плотности. М.: Стандартинформ, 2012, 16 с.
- ГОСТ 25179-2014. Молоко и молочные продукты. Методы определения массовой доли белка. М.: Стандартинформ, 2015, 8 с.
- ГОСТ 26809.1-2014. Молоко и молочная продукция. Правила приемки, методы отбора и подготовка проб к анализу. Часть 1. Молоко, молочные, молочные составные и молочносодержащие продукты. М.: Стандартинформ, 2019, 9 с.
- ГОСТ 32901-2014. Молоко и молочная продукция. Методы микробиологического анализа. М.: Стандартинформ, 2015, 24 с.
- ГОСТ 33957-2016. Сыворотка молочная и напитки на ее основе. Правила приемки, отбора проб и методы контроля. М.: Стандартинформ, 2016, 16 с.
- ГОСТ 34352-2017. Сыворотка молочная – сырье. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2018, 8 с.
- ГОСТ Р 53359-2009 Молоко и продукты переработки молока. Методы определения pH. М.: Стандартинформ, 2009, 8 с.
- Короткий И.А., Гунько П.А., Федоров, Д.Е. Исследование процессов криоконцентрирования молочной сыворотки. Технология переработки, 2014, №1, С. 148-153.
- Кравченко С.Н. Научное обоснование разработки технологических потоков и оценки качества быстрорастворимых гранулированных продуктов: дисс. ... докт. техн. наук. Кемерово, 2011. 322 с.
- М 04-41-2005 «Методика выполнения измерений массовой доли свободных форм водорастворимых витаминов в пробах премиксов, витаминных добавок, концентратов и смесей с использованием системы капиллярного электрофореза «Капель-105». СПб.: Люмэкс, 2006, 31 с.
- Остертак Д.М. Разработка теоретических основ и методики проектирования электростатических МЭМП механической энергии в электрическую: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2009, 29 с.
- Панченко С.Л. Исследование процесса концентрирования творожной сыворотки методом вымораживания: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Воронеж, 2010. 24 с.
- Устройство выключателей электрического тока: пат. 2479062 Российская Федерация, МПК H01H 39/00. № 2013122433/13 / Ипполитов Е.В., Сергеев В.П., Махрин В.И., Тихонов В.В., Тихонов Н.В.; заявитель и патентообладатель НИИ «Томский политехнический университет»; заявл. 16.05.2012; опубл. 10.04.2013, Бюл. № 10.
- Камера выпарного электродного аппарата: пат. 160649 Российская Федерация, МПК B01D 1/22. № 2015123771/05 / Попов А.М., Турова Н.Н., Фролов С.В., Коняев А.В.; заявитель и патентообладатель ФБГОУ ВО «Кемеровский государственный университет»; заявл. 18.06.2015; опубл. 27.03.2016, Бюл. №9.
- Попов А.М., Турова Н.Н., Стабровская Е.И., Мамонтов А.С. Закономерности концентрирования творожной сыворотки методом прямого нагрева. Фундаментальные исследования, 2015, № 4, С. 125-129.
- Попов А.М., Турова Н.Н., Стабровская Е.И., Васильченко Н.В., Коняев А.В.

- Особенности использования прямого нагрева при концентрировании сыворотки. *Фундаментальные исследования*, 2015, № 2, ч. 10, С. 2124-2128.
- СанПиН 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевой продукции. М.: Стандартинформ, 2002, 144 с.
- Тихонов Н.В. Исследование процессов концентрирования и ультрапастеризации соков методом прямого нагрева: Автореферат дисс. ... канд. техн. наук. Кемерово, 2013. 19 с.
- Турова Н.Н. Влияние прямого электронагрева на химические, физические и бактериологические свойства творожной сыворотки. *Современные проблемы науки и образования*, 2015, № 2, С. 22-33.
- Турова Н.Н. Разработка и исследование технологии гранулированных напитков на основе творожной сыворотки, концентрированной методом прямого нагрева: дисс. ... канд. тех. наук. Кемерово, 2016. 124 с.
- Храмцов А.Г. Феномен молочной сыворотки. СПб.: Профессия, 2011, 804 с.
- Храмцов А.Г., Василисин С.В., Рябцева С.А., Воротникова Т.С. *Технология продуктов из вторичного молочного сырья*. СПб.: ГИОРД, 2009, 424 с.
- Храмцов А. Г., Василисин С.В. *Промышленная переработка вторичного молочного сырья*. М.: ДеЛи-принт, 2003, 100 с.
- Popov A.M., Tikhonov V.V., Tikhonov. N.V. Thermophysical properties of granules of instant drinks in the process of structuring. *Procedia Chemistry*, 2014, no. 10 pp. 410-413.
- Shiby Varghese K., Pandey M.C., Radhakrishna K., Bawa A.S. Technology, applications and modelling of ohmic heating: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 2010, vol. 51, no. 10 pp. 2304-2317.
- Stancl J., Zitny R. Milk fouling at direct ohmic heating. *Journal of Food Engineering*, 2010, vol. 99, no. 4 pp. 437-444.
- Tikhonov N.V., Popov A.M., Tikhonov V.V., Investigation of changes in conductivity of juice during the evaporation process. *Procedia Chemistry*, 2014, no. 10 pp. 414-418.

Improving Evaporation Process of Curd Whey by Direct Heating in the Producing of Instant Drinks

Anatoly M. Popov

Kemerovo State University

6 Krasnaya Street, Kemerovo, 650000, Russian Federation

E-mail: popov4116@yandex.ru

Natalia N. Turova

Kemerovo State University

6 Krasnaya Street, Kemerovo, 650000, Russian Federation

E-mail: natalya_turova@inbox.ru

Elena I. Stabrovskaya

Kemerovo State University

6 Krasnaya Street, Kemerovo, 650000, Russian Federation

E-mail: helist@inbox.ru

Curd whey is a promising ingredient for the production of functional products, in particular instant beverages. The specific features of the mass transfer mechanism of curd whey substances make it difficult to use traditional evaporators in manufacturing practice and dictate the task of finding new and modernizing existing methods for producing concentrated curd whey. The purpose of this work is to improve the process of evaporation of curd whey by the method of direct heating in the production of instant granular beverages. Most of the research was carried out on the basis of the research laboratories of Kemerovo State University. The object of research used curd whey produced at LLC "Anzherskoe milk" (Kemerovo region, Anzhero-Sudzhensk) in accordance with the requirements of State standard 53438-2009 and common methods of evaluation of experimental data. In the process of work, it was established experimentally how the physicochemical properties, vitamin composition and microbiological indicators of the curd whey change with increasing temperature. The dependence of the electrical conductivity on the concentration and active acidity at various temperatures is found. On the basis of the obtained data and materials of preliminary studies, a rational mode of operation of the pilot plant for evaporation of whey was chosen, taking into account the best quality of the product obtained and the possibility of its use in the food industry. It was concluded that direct electrical heating has a smaller destructive effect on the native properties of the original curd whey, and a change in electrical conductivity allows controlling the whey acidity, and also makes it possible to automate control over the solids content and the foaming process during evaporation using direct electrical heating. On the basis of the developed apparatus, a technological for the production of instant granular beverages has been adopted, containing typical technological processes linked with each other by a system of machines in time and space.

Keywords: curd whey; direct electric heating; electrodes; evaporation; rational parameters; instant beverage

References

Gavrilov G.B. Vybor membrannykh metodov obrabotki

syvorotki: s chego nachat' [Choosing of membrane methods processing techniques: where to start]. *Molochnaya promyshlennost'* [Dairy industry], 2012, no 2, p 38.

- Gavrilov G.B. Zakonomernosti membrannogo kontsentrirvaniya syvorotochnykh belkov [The regularity of membrane concentration of whey proteins]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* [Technique and technology of food production], 2009, no 1, pp. 26-29.
- Gavrilov G.B. Kravchenko E.F. Puti ratsional'nogo ispol'zovaniya molochnoy syvorotki [Ways to rationally use whey]. *Syrodellie i maslodellie* [Cheesemaking and butter making], 2013, no 2, pp. 10-13.
- GOST 54758-11 Moloko i molochnye produkty. Metody opredeleniya plotnosti [Milk and dairy products. Density Determination Methods]. Moscow: Standardinform, 2012, 16 p.
- GOST 25179-2014. Moloko i molochnye produkty. Metody opredeleniya massovoy doli belka [Milk and dairy products. Methods for determining the mass fraction of protein]. Moscow: Standardinform, 2015, 8 p.
- GOST 26809.1-2014. Moloko i molochnaya produktsiya. Pravila priemki, metody otbora i podgotovka prob k analizu. Chast' 1. Moloko, molochnye, molochnye sostavnye i molokosoderzhashchie produkty [Milk and dairy products. Acceptance rules, sampling methods and sample preparation for analysis. Part 1. Milk, dairy, dairy constituents and milk-containing products]. Moscow: Standardinform, 2019, 9 p.
- GOST 32901-2014. Moloko i molochnaya produktsiya. Metody mikrobiologicheskogo analiza [Milk and dairy products. Microbiological analysis methods]. Moscow: Standardinform, 2015, 24 p.
- GOST 33957-2016. Syvorotka molochnaya i napitki na ee osnove. Pravila priemki, otbora prob i metody kontrolya [Whey and drinks on its basis. Acceptance, sampling rules and control methods]. Moscow: Standardinform, 2016, 16 p.
- GOST 34352-2017. Syvorotka molochnaya - syr'e. Tekhnicheskie usloviya [Whey - raw materials. Technical conditions]. Moscow: Standardinform, 2018, 8 p.
- GOST R 53359-2009 Moloko i produkty pererabotki moloka. Metody opredeleniya pH [Milk and milk processing products. PH Methods]. Moscow: Standardinform, 2009, 8 p.
- Korotkiy I.A., Gynko P.A., Fedorov D.E. Issledovanie protsessov kriokontsentrirvaniya molochnoy syvorotki [Study of whey cryoconcentration processes]. *Tekhnologiya pererabotki* [Processing technology], 2014, no 1, pp. 148-153.
- Kravchenko S. N. Nauchnoe obosnovanie razrabotki tekhnologicheskikh potokov i otsenki kachestva bystrorastvorimykh granulirovannykh produktov: diss. dokt. tekhn. nauk [Scientific rationale for the development of process streams and quality assessment of instant granular products. Dr. Sci. (Technology) thesis]. Kemerovo, 2011. 322 c.
- M 04-41-2005 Metodika vypolneniya izmereniy massovoy doli svobodnykh form vodorastvorimykh vitaminov v probakh premiksov, vitaminnykh dobavok, kontsentratov i smesey s ispol'zovaniem sistemy kapillyarnogo ehlektroforeza «Kapel'-105». [The measurement technique of the mass fraction of free forms of water-soluble vitamins in samples of premixes, vitamin supplements, concentrates and mixtures using the system «Capel-105» capillary electrophoresis]. St. Petersburg: Lumex, 2006, 31 p.
- Ostertak D.M. Razrabotka teoreticheskikh osnov i metodiki proektirovaniya ehlektrostaticheskikh MEHMP mekhanicheskoy ehnergii v ehlektricheskuyu: Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Development of theoretical foundations and design techniques for the electrostatic MEMP of mechanical energy into electrical energy. Abstract of Ph.D. (Technology) thesis]. Novosibirsk, 2009, 29 p.
- Panchenko S.L. Issledovanie protsessa kontsentrirvaniya tvorozhnoy syvorotki metodom vymorazhivaniya: Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk. [The study of the concentration of curd whey by method of freezing. Abstract of Ph.D. (Technology) thesis]. Voronezh, 2010. 24 p.
- Ustroystvo vyklyuchateley ehlektricheskogo toka [The device switches electric current]: Pat. 2479062 Russian Federation, IPC H01H 39/00. No 2013122433/13. Ippolitov E.B., Sergeenko V.P., Makhurin V.I., Tikhonov V.V. Tikhonov N.V.; applicant and patent holder Tomsk Polytechnic University; declared 16.05.2012; publ. 10.04.2013, bulletin no 10.
- Kamera vyparnogo ehlektrodnogo apparata [Camera evaporator electrode apparatus]: Pat. 160649 Russian Federation, IPC B01D 1/22. No 2015123771/05. Popov A.M., Turova N.N., Frolov S.V., Konyaev A.V.; applicant and patent holder Kemerovo State University; declared 18.06.2015; publ. 27.03.2016, bulletin no 9.
- Popov A.M., Turova N.N., Stabrovskaya E.I., Mamontov A.S. Zakonomernosti kontsentrirvaniya tvorozhnoy syvorotki metodom pryamogo nagreva [The regularity of concentration of curd whey by direct heating]. *Fundamental'ye issledovaniya* [Basic research], 2015, no 4, pp. 125-129.
- Popov A.M., Turova N.N., Stabrovskaya E.I., Vasilchenko N.V., Konyaev A.V. Osobennosti ispol'zovaniya pryamogo nagreva pri kontsentrirvanii syvorotki. [Features of the use of direct heating by concentrating the whey]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Basic research], 2015, no 2, part 10, pp. 2124-2128.

- SanPiN 2.3.2.1078-01. Gigienicheskie trebovaniya bezopasnosti i pishchevoy tsennosti pishchevoy produktsii [Hygienic requirements for safety and nutritional value of food products]. Moscow: Standardinform, 2002, 144 p.
- Tikhonov N.V. Issledovanie protsessov kontsentrirvaniya i ul'trapasterizatsii sokov metodom pryamogo nagreva: Avtoreferat diss. kand. tekhn. Nauk [Study of the processes of concentration and ultra-pasteurization of juices by direct heating. Abstract of Ph.D. (Technology) thesis]. Kemerovo, 2013. 19 p.
- Turova N.N. Vliyaniye pryamogo ehlektronagreva na khimicheskie, fizicheskie i bakteriologicheskie svoystva tvorozhnoy syvorotki [The effect of direct electric heating on the chemical, physical and bacteriological properties of curd whey]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2015, no 2, pp. 22-33.
- Turova N.N. Razrabotka i issledovanie tekhnologii granulirovannykh napitkov na osnove tvorozhnoy syvorotki, kontsentrirvannoy metodom pryamogo nagreva: diss. kand. tekhn. nauk [Development and research of the technology of granular drinks based on curd whey concentrated by direct heating. Ph.D. (Technology) thesis]. Kemerovo, 2016. 124 p.
- Khramtsov A.G. Fenomen molochnoy syvorotki [The phenomenon of whey]. St. Petersburg: Profession, 2011, 804 p.
- Khramtsov A.G., Vasilisin S.V., Reabtseva S.A., Vorotnicova T.S. Tekhnologiya produktov iz vtorichnogo molochnogo syr'ya [Technology products from secondary raw milk]. St. Petersburg: GIOR, 2009, 424 p.
- Khramtsov A.G., Vasilisin S.V. Promyshlennaya pererabotka vtorichnogo molochnogo syr'ya [Industrial processing of secondary dairy raw materials]. Moscow: DeLi-print, 2003, 100 p.
- Popov A.M., Tikhonov V.V., Tikhonov N.V. Thermophysical properties of granules of instant drinks in the process of structuring. *Procedia Chemistry*, 2014, no. 10 pp. 410-413.
- Shiby Varghese K., Pandey M.C., Radhakrishna K., Bawa A.S. Technology, applications and modelling of ohmic heating: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 2010, vol. 51, no. 10 pp. 2304-2317.
- Stancl J., Zitny R. Milk fouling at direct ohmic heating. *Journal of Food Engineering*, 2010, vol. 99, no. 4 pp. 437-444.
- Tikhonov N.V., Popov A.M., Tikhonov V.V. Investigation of changes in conductivity of juice during the evaporation process. *Procedia Chemistry*, 2014, no. 10 pp. 414-418.