

УДК 663.44

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРЯМОГО НАГРЕВА ПРИ КОНЦЕНТРИРОВАНИИ СЫВОРОТКИ

Попов А.М., Турова Н.Н., Стабровская Е.И., Васильченко Н.В., Коняев А.В.

ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)»,
Кемерово, e-mail: natalya_turova@inbox.ru

Представлены результаты исследований процесса концентрирования творожной сыворотки с помощью прямого нагрева путем использования различных электродных пар. Проанализированы недостатки способов, такие как неравномерное распределение электрического поля, неравномерный нагрев и явление краевого эффекта. Предложены средства и методы их устранения. Определено влияние теплового воздействия на свойства творожной сыворотки, такое как повышение концентрации сухих веществ, плотности, вязкости, кислотности. Сконструирована греющая камера с тремя плоскопараллельными электродами, расположенными с перекрытием своей площади и нанесенным диэлектрическим слоем. Доказано равномерное распределение тока на всех участках покрываемой поверхности, сохранение теплоты и исключение краевого эффекта. Определена рациональная температура концентрирования с помощью прямого нагрева, обеспечивающая сохранность всех свойств натуральной творожной сыворотки.

Ключевые слова: творожная сыворотка, концентрирование, электролитический, выпаривание, прямой нагрев, краевой эффект

PRINCIPLES OF USE A DIRECT HEATING OF CONCENTRATING WHEY

Popov A.M., Turova N.N., Stabrovskaya E.I., Vasilchenko N.V., Konyaev A.V.

*Kemerovo Institute of food Science and Technology (university),
Kemerovo, e-mail: natalya_turova@inbox.ru*

The results of research the concentration of cottage cheese whey using direct heating by using different electrode pairs are presented. Deficiencies of methods such as uneven distribution of the electric field, uneven heating and the edge effect phenomenon are analyzed. The means and methods to remove them are proposed. The influence of thermal effects on the properties of the cheese whey is determined. The concentration increasing of dry matter, density, viscosity, acidity. A heating chamber with three parallel plate electrodes located in an overlapping of its area and coated dielectric layer is designed. The uniform current distribution in all areas of the coated surface proven, the conservation of heat and exclusion edge effect. The rational concentration temperature by direct heating provides the safety of all properties of natural cheese whey is determined.

Keywords: cottage cheese, whey concentration, electrolyte, resistive evaporation, direct heating, the regional effect

Одной из наиболее актуальных проблем в настоящее время является переработка вторичных материальных ресурсов, получаемых при производстве пищевых продуктов. В молочной промышленности при производстве творога и сыров образуется вторичное сырье – молочная сыворотка. Она обладает высокой пищевой и биологической ценностью, содержит около 50% сухих веществ молока, энергетическая ценность, в значительной части за счет высокого содержания лактозы, составляет 36% от цельного молока. Сывороточные белки, оптимально сбалансированы по аминокислотному набору, что создает возможности для регенерации белков печени, гемоглобина и белков плазмы крови. Минеральные соли сыворотки практически идентичны солям цельного молока и содержат «защитные» комплексы антисклеротического действия. В целом сыворотку можно охарактеризовать следующей формулой: «минимум калорий при максимуме биологической ценности». Поэтому молочная сыворотка

обладает питательной ценностью, а продукты, получаемые из нее, имеют диетическое и лечебное значение в питании людей [1, 6].

При хранении состав и свойства молочной сыворотки изменяются под воздействием микроорганизмов и ферментов, выделяемых ими, что может привести к быстрой ее порче, поэтому сыворотку рекомендуется перерабатывать в течение 1–3 часов после получения. Если сыворотку приходится хранить в течение более длительного времени или транспортировать от места получения к месту переработки на определенные расстояния, то ее необходимо подвергать специальной обработке, одним из основных способов которой является концентрирование с целью удаления части воды из продукта. В целом концентрированию подвергается около 50% молочной сыворотки, перерабатываемой в промышленных условиях [6].

Традиционная схема концентрирования подразумевает выпаривание при пониженном давлении в аппаратах рубашечного

типа. Температура в выпарном аппарате поддерживается в интервале 40–70 °С, а теплоносителем является горячая вода. Недостатком данной технологии является значительный расход энергии и температурная деструкция компонентов молочной сыворотки, а также длительность самого процесса выпаривания. Из-за длительного температурных пределах происходит частичное разрушение компонентов молочной сыворотки.

Применение разряжения в аппарате является обязательным условием, так как многие компоненты при температуре более 70 °С разрушаются. Снижая температуру кипения (понижая давление), избегают от термодеструкции. Однако при интенсивном подводе тепла на стенках аппарата возможна деструкция полезных веществ, так как температура теплоносителя должна быть на 5–10 °С выше температуры в самом аппарате [4].

С целью интенсификации процессов выпаривания молочной сыворотки и увеличения содержания в них полезных веществ был исследован процесс выпаривания молочной сыворотки в выпарном аппарате с прямым электронагревом. В таких аппаратах тепло выделяется в самой нагревательной среде и практически 100 % электрической энергии переходит в тепловую. Преимущество электроэнергии перед другими теплоносителями состоит в большей удельной мощности установки. Процесс нагрева можно плавно регулировать и автоматизировать. Недостатком данной технологии является неравномерное распределение электрического поля, так как плотность тока на электродах неодинакова, вследствие чего нагрев может быть неравномерным и явление краевого эффекта.

Исследованию процесса теплообмена в электростатическом поле посвящено много работ [2, 3, 4, 5, 6].

Модернизация данного метода производства концентрированной творожной сыворотки путем использования различных электродных пар позволит устранить ограничения традиционной технологии.

Материалы и методы исследований

В ходе проведения исследований были рассмотрены электродные пары: плоскопараллельные с двумя электродами и плоскопараллельные с тремя электродами.

В выпарных аппаратах электродного типа, содержащих плоскопараллельную электродную пару с двумя электродами, размещенную в центральной части, нагрев раствора происходит в межэлектродном пространстве. Наличие парогазовой фазы

в межэлектродном пространстве не гарантирует равномерного распределения электрического поля, то есть происходит изменение плотности тока на электродах и, как следствие, потребляемой мощности (рис. 1, а).

При погружении в творожную сыворотку двух параллельных электродов одинаковых размеров ток проходит не только по главным силовым линиям, которые идут от одного электрода перпендикулярно к другому, но и по дополнительным силовым линиям, который концентрируются на краях электродов и огибают их. В соответствии с расположением параллельных электродов, в установке по отношению к боковым стенкам, дну емкости и уровню жидкости, металл распределяется на различных участках поверхности [3].

Во втором случае электроды были раздвинуты на максимально большое расстояние и приближены к стенкам емкости. На крайний левый и правый электрод с внешней стороны был наложен диэлектрический слой из селена, что обеспечило сохранение тепловой энергии в растворе, без потерь в окружающую среду. Токи в данном случае двигались от большего потенциала к меньшему, обеспечивая равномерное распределение электрического поля по всему объему. Чтобы избежать движения по дополнительным силовым линиям, длина электродов была рассчитана по высоте емкости (рис. 1, б).

Схематическое изображение экспериментальной установки представлено на рис. 1.

Емкость (1), установленная на контрольно-измерительные весы, имеет градуировку объемом 1 литр и снабжена крышкой (2) с уплотнением. В угловой части крышки установлен клапан (4) для сброса водяного пара и термометр (5). В центральной части установлена плоскопараллельная пара электродов (3) (рис. 1, а) и коаксиально-цилиндрическая пара электродов (3) (рис. 1, б), которые используются для включения творожной сыворотки в электрическую цепь. Электроды подключены к источнику энергии через контрольно-измерительный стенд (6). Для электродов была выбрана нержавеющей сталь марки 12Х18Н10Т. Данный материал допустим к применению в пищевой промышленности и распространен на рынке. Через стенд подавалось напряжение и контролировались вольтамперные характеристики процесса (сила тока и напряжение). Расход раствора в емкости контролировался по показаниям градуировки и контрольно-измерительных весов [7].

Процесс прямого нагрева с последующим выпариванием осуществлялся в нескольких режимах, а именно: при температурах 40, 50, 60, 70 и 80 °С в течение 60 минут, с исключением возможности закипания данного продукта. В этом случае электрический ток протекает через теплоноситель, за счет сопротивления которого и происходит нагрев. При этом явления электролиза (разложение среды на кислород и водород при пропускании через неё постоянного электрического тока) не наблюдается, так как катод и анод постоянно меняются местами с частотой электрической сети. По сравнению с обычным процессом варки продукт нагревается не с помощью горячей поверхности, а по поперечному сечению. При этом интенсивность нагрева пропорциональна квадрату напряженности электрического поля и электрической проводимости [4].

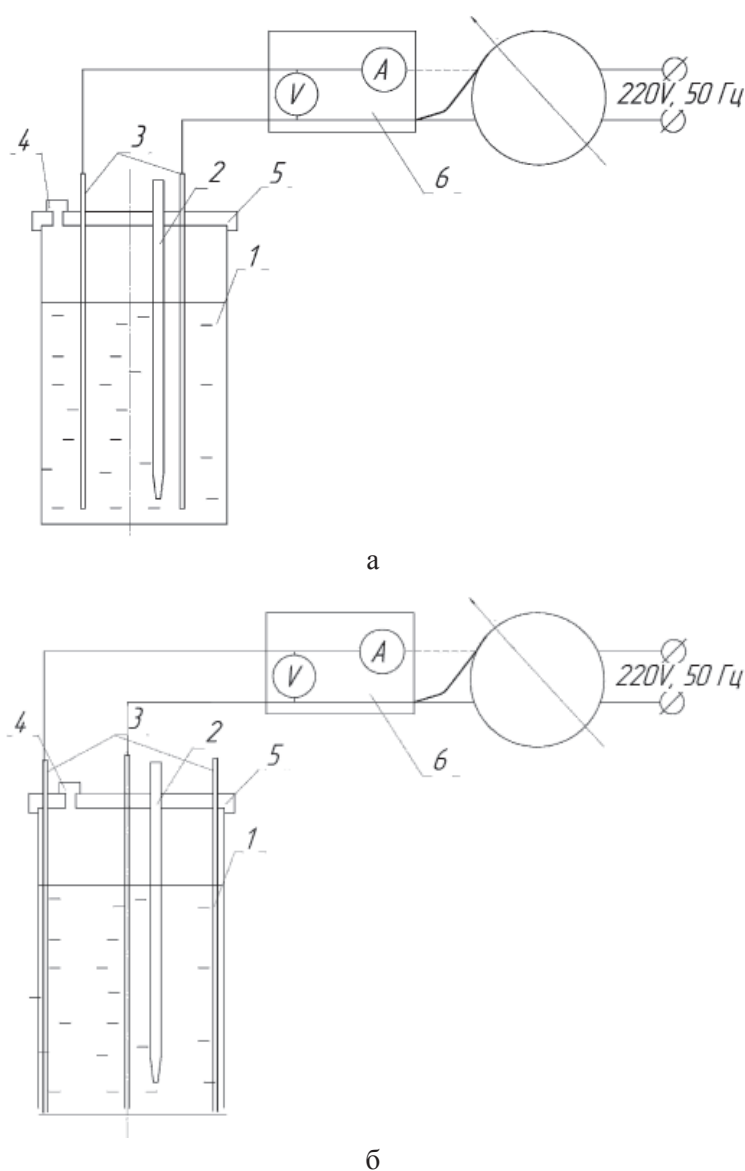


Рис. 1. Экспериментальная установка:
 а – экспериментальная установка с двумя плоскопараллельными электродами;
 б – экспериментальная установка с тремя плоскопараллельными электродами

Результаты исследования и их обсуждение

При выпаривании творожной сыворотки в камерах с плоскопараллельным расположением электродов идентично повышалась концентрация сухих веществ, изменялись свойства раствора, в частности плотность, вязкость, кислотность, массовая доля белка (тепловой порог денатурации находится в области (65–70)°С) (рис. 2, 3).

В результате исследований было выявлено, что температурное воздействие на сыворотку в процессе концентрирования приводит к изменению количественного

состава витаминов (витаминов группы В и витамина С) и изменению количественного соотношения некоторых аминокислот. В таблице приведены основные значения содержания витаминов группы В и витамина С.

Выпаривание сыворотки сопровождалось изменением цвета готового продукта от бледно-желтого до желто-зеленого. Это произошло в результате концентрирования красящих веществ, обуславливающих желтовато-зеленоватый цвет сыворотки. В частности, наличие в сыворотке рибофлавина определяет ее цвет.

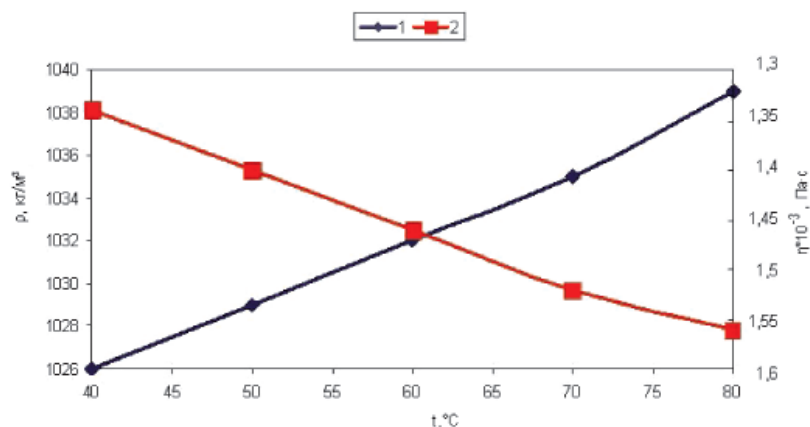


Рис. 2. Изменение плотности (1) и вязкости (2) творожной сыворотки в зависимости от температуры

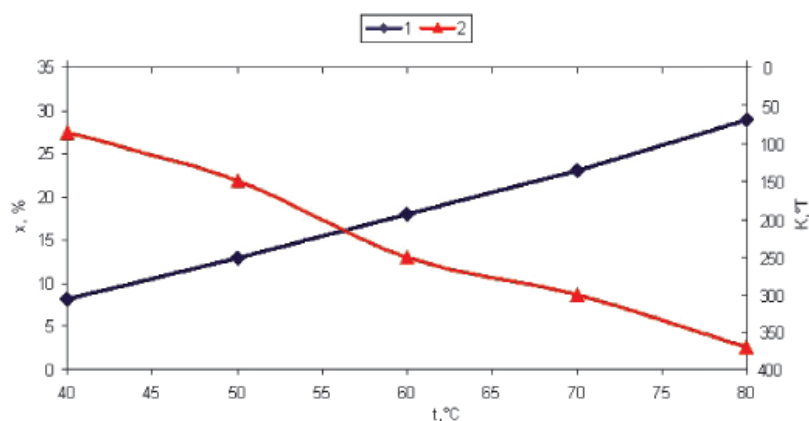


Рис. 3. Изменение массовой доли сухих веществ (1) и кислотности (2) творожной сыворотки в зависимости от температуры

Содержание витаминов в творожной сыворотке после выпаривания

№ п/п	Температура выпаривания, °С	В2 (рибофлавин), мг/дм ³	В3 (ниацин), мг/дм ³	В9 (фолиевая кислота), мг/дм ³	В6 (пиридоксина гидрохлорид), мг/дм ³	С (аскорбиновая кислота), мг/дм ³
1	40	1,100	0,300	0,965	0,500	0,567
2	50	0,990	0,289	0,941	0,450	0,554
3	60	0,970	0,279	0,874	0,390	0,392
4	70	0,970	0,252	0,702	0,320	0,230
5	80	0,950	0,210	0,631	0,280	0,120

С изменением концентрации лактозы и минеральной части сыворотки изменился вкус продукта, который характеризуется как сладко-соленый, кисло-сывороточный, солонватый. Вкус сгущенной сыворотки зависит от количества карбонильных соединений, которые образуются в результате воздействия высокой температуры на лактозу [8, 9].

Проведенные микробиологические исследования показали, что в составе концентрированной сыворотки были обнаружены примеси металлов электродов, которые образовались в результате возникновения кра-

евого эффекта, что показало непригодность использования полученного продукта.

Тогда был проведен анализ влияния перераспределения зарядов по площади электродов, который показал, что в отличие от модели идеально плоскопараллельной структуры при учете краевых эффектов плотность зарядов на краях электродов может превышать плотность заряда в центре электрода, причем влияние краевых эффектов возрастает с уменьшением отношения d/b и площади перекрытия электродов (рис. 4). [5].

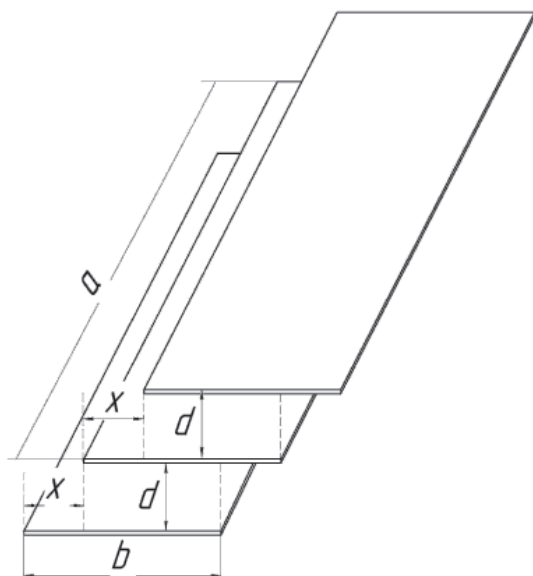


Рис. 4. Плоскопараллельная структура

Так, расстояние между электродами было рассчитано с учетом существования краевых эффектов и было определено 200 мм, при этом в результате процесса выпаривания в конечном продукте не было обнаружено металлических примесей, а свойства раствора остались идентичными описанным ранее данным.

Выводы

Для выпаривания творожной сыворотки с помощью прямого нагрева использована греющая камера с тремя плоскопараллельными электродами, расположенными с перекрытием своей площади и нанесенным диэлектрическим слоем. Процесс обеспечивает равномерное распределение тока на всех участках покрываемой поверхности, сохранение теплоты и исключает краевой эффект.

С точки зрения сохранения натуральных компонентов молочной сыворотки желательным является минимальная температура концентрирования. Исходя из термической устойчивости компонентов молочной сыворотки и удовлетворительной интенсивности процессов концентрирования с минимальными потерями продукта и затрат тепловой энергии оптимальной температурой концентрирования считается $(55-60)^\circ\text{C}$, что подтверждают данные, полученные экспериментальным путем.

Список литературы

1. Залашко М.В. Биотехнология переработки молочной сыворотки. – М.: Агропромиздат, 1990. – 192 с.
2. Киреев В.В. Теплообмен при охлаждении в электростатическом поле / В.В. Киреев, С.Д. Руднев // Техника и технологии пищевых производств. – 2012. – № 2. – С. 32–38.

3. Косинцев В.И. Испытания выпарного аппарата электродного типа с прямым электронагревом: Методическое указание к проведению лабораторной работы по курсу «Процессы и аппараты химической технологии» / В.И. Косинцев, А.Г. Пьянков // ТПИ. – Томск, 1979. – 11 с.

4. Мамонтов В.В. Интенсификация процессов нагрева и выпаривания электропроводных растворов под воздействием прямого электронагрева: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Томск, 2004. – 19 с.

5. Остертак Д.М. Разработка теоретических основ и методики проектирования электростатических МЭМП механической энергии в электрическую: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Новосибирск, 2009. – 29 с.

6. Панченко С.Л. Исследование процесса концентрирования творожной сыворотки методом вымораживания: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Воронеж, 2010. – 24 с.

7. Тихонов Н.В. Исследование процессов концентрирования и ультрапастеризации соков методом прямого нагрева: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Кемерово, 2013. – 19 с.

8. Храмов А.Г. Молочная сыворотка. – 2-е, изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1990. – 240 с.

9. Храмов А.Г. Производство сгущенных концентратов молочной сыворотки: учебное пособие / Храмов А.Г., Нестеренко П.Г., Чеботарев Е.А. – Ставрополь: Институт развития образования, 1998. – 80 с.

References

1. Zalashko M.V. Biotechnologiya pererabotki molochnoy syvorotki / Biotechnology whey processing. Moscow, Agropromizdat, 1990. 192 p.

2. Kireev V.V. Teploobmen pri ohlazhdenii v jelektrostaticheskom pole / V.V. Kireev, S.D. Rudnev // Tehnika i tehnologii pishhevyyh proizvodstv. 2012. no. 2. pp. 32–38.

3. Kosincev V.I. Ispytaniya vyparnogo apparata jelektrodnoho tipa s prjamyim jelektroonagrevom: Metodicheskoe ukazanie k provedeniju laboratornoj raboty po kursu «Processy i apparaty himicheskoy tehnologii» / V.I. Kosincev, A.G. Pjankov // TPI. Tomsk, 1979. 11 p.

4. Mamontov V.V. Intensifikacija processov nagrevanija i vyparivanja jelektroprovodnyh rastvorov pod vozdejstviem prjamoego jelektroonagreva: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk. Tomsk, 2004. 19 p.

5. Ostertak D.M. Razrabotka teoreticheskix osnov i metodiki proektirovanija jelektrostaticheskix MJeMP mehanicheskoy jenerгии v jelektricheskiju: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk. Novosibirsk, 2009. 29 p.

6. Panchenko S.L. Issledovanie processa koncentrirovaniya tvorozhnoj syvorotki metodom vymorazhivaniya: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk. Voronezh, 2010. 24 p.

7. Tihonov N.V. Issledovanie processov koncentrirovaniya i ultrapasterizacii sokov metodom prjamoego nagreva: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk. Kemerovo, 2013. 19 p.

8. Hramcov A.G. Molochnaja syvorotka. 2-e, izd., pererab. i dop. M.: Agropromizdat, 1990. 240 p.

9. Hramcov A.G. Proizvodstvo sgushhenykh koncentratov molochnoj syvorotki: uchebnoe posobie / Hramcov A.G., Nesterenko P.G., Chebotarev E.A. Stavropol: Institut razvitiya obrazovaniya, 1998. 80 p.

Рецензенты:

Руднев С.Д., д.т.н., заведующий кафедрой «Машины и аппараты пищевых производств», ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)», г. Кемерово;

Бородулин Д.М., д.т.н., заведующий кафедрой «Технологическое проектирование пищевых производств», ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)», г. Кемерово.

Работа поступила в редакцию 18.03.2015.