

УДК 663.44

ЗАКОНОМЕРНОСТИ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ ТВОРОЖНОЙ СЫВОРОТКИ МЕТОДОМ ПРЯМОГО НАГРЕВА

Попов А.М., Турова Н.Н., Стабровская Е.И., Мамонтов А.С.

ФГБОУ ВПО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности», Кемерово, e-mail: natalya_turova@inbox.ru

В статье представлена установка для исследования основных закономерностей концентрирования творожной сыворотки с помощью метода электролитического нагрева. Авторами были проведены экспериментальные исследования молочной сыворотки при различных температурах. Установлено, что процесс концентрации творожной сыворотки при помощи электролитического нагрева легко поддается управлению при помощи коррекции напряжения. Также процесс обладает возможностью поддерживать постоянную температуру в течение заданного времени, исключая возможность перегрева, что обеспечивает сохранность полезных веществ и витаминов в творожной сыворотке и исключает такое явление, как коагуляция белка. На основании анализа полученных результатов можно сделать вывод о создании экспериментальной установки электролитического нагрева творожной сыворотки и других пищевых жидкостей, которая позволяет получить продукт с заданными технологическими свойствами, при этом процесс его получения полностью автоматизирован.

Ключевые слова: творожная сыворотка, концентрирование, электролитический нагрев, прямой нагрев, энергозатраты

REGULARITIES OF CONCENTRATION COTTAGE CHEESE WHEY BY THE METHOD OF DIRECT HEATING

Popov A.M., Turova N.N., Stabrovskaya E.I., Mamontov A.S.

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

The article examines the basic regularities of concentration of cottage cheese whey by the method of direct heating. Experimental researches of milk whey at various temperatures are performed by the authors. It was found that the process of concentration of cottage cheese whey using the direct heating is easy to control by voltage correction. Also, the process has the ability to maintain a constant temperature for a predetermined time, excluding the possibility of overheating, which ensures the preservation of nutrients and vitamins in cottage cheese whey and eliminates the phenomenon of coagulation of protein. Based on the analysis of results and data available from other fields one can infer the establishment of the experimental device for direct heating of cottage cheese whey or other liquid foods, which allows to obtain a product with specified technological properties and make the production process fully automated.

Keywords: cottage cheese, concentration, electrolytic heating, direct heating, energy costs

Проблема переработки сыворотки играет важную роль, увеличение производства творога и творожных изделий, а также сыров приводит к значительному увеличению количества сыворотки как побочного продукта переработки молока, что приводит к значительному снижению эффективности производства и загрязнению окружающей среды. Потому что перерабатывается всего лишь 38,0% сыворотки, остальная часть сливается, что значительно ухудшает экологическую обстановку региона. По оценкам специалистов объем сливаемой сыворотки, в основном творожной, составляет от 1,5 до 3 млн тонн в год. Таким образом, проблема использования сыворотки неразрывно связана с проблемой охраны окружающей среды.

Академик РАСХН А.Г. Храмцов утверждает: «Необходимость, целесообразность и возможность промышленной переработки молочной сыворотки в настоящее время у профессионалов молочного дела всего мира не вызывают сомнений. Задача состо-

ит в том, как это с наименьшими затратами практически осуществить». Чтобы решить задачу «наименьших затрат» в уравнении со многими неизвестными, необходимо определиться с их значением. Поэтому академик Храмцов А.Г. пишет «...Рациональное использование продуктов, получаемых из молочной сыворотки, является не менее актуальной и значимой проблемой, как и промышленная переработка». И тут же отмечает «...К сожалению, ей уделяется, в том числе переработчиками, потребителями и инвесторами, недостаточное внимание».

Молочная сыворотка 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, которые являются важным компонентом молочной сыворотки, оптимально сбалансированы по аминокислотному набору, особенно серосодержащих

аминокислот – цистина, метионина, 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». Потери ее ведут к снижению эффективности переработки молока [6, 7, 1].

Количество методов переработки молочной сыворотки достаточно велико, однако при выборе того или иного всегда возникает проблема эффективности данного решения.

Помимо стоимости оборудования большую роль играет его энергоэффективность, простота эксплуатации и надежность, а также, несомненно, качество получаемого продукта. Наиболее развитым и перспективным направлением концентрирования молочной сыворотки является ультрафильтрация, микрофильтрация и обратный осмос [3]. Именно эти способы получили наиболее широкое распространение для концентрирования пищевых жидкостей, в том числе и молочной сыворотки. Но ни одно из вышеприведенных направлений не позволяет решить все проблемы переработки молочной сыворотки. Одни из них слишком затратные, другие не обеспечивают получение продукта надлежащего качества. Данные проблемы обуславливают необходимость применения более рациональных методов переработки молочной сыворотки, чтобы обеспечить не только качество полученного продукта, но и обеспечить надежность и эффективность технологического процесса.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования является процесс концентрирования молочной сыворотки с помощью электролитического нагрева, далее будем называть его прямой нагрев.

Процесс нагрева в электроводонагревателе электродного типа происходит посредством протекания электрического тока 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 равномерно по всему поперечному сечению. При этом интенсивность нагрева пропорциональна квадрату напряженности электрического поля и электрической проводимости [2]. Интенсивность нагрева можно менять, варьируя расстояние между электродами и изменяя их площадь, а также приложенное напряжение. Важную роль также играет

и электрическая проводимость самого продукта и ее зависимость от температуры.

Таким образом, главным достоинством данного метода являются минимальные тепловые потери за счет простоты конструкции и принципа самого нагрева, благодаря чему КПД данной установки близок к 96–98%. Стоит отметить безопасность данных установок при правильной эксплуатации. Так как теплоноситель является элементом электрической цепи, то в экспериментальной установке отсутствует проблема «сухого хода», или, другими словами, если из системы нагрева по какой-либо причине вытекает теплоноситель, то установка просто перестает работать из-за размыкания цепи, тем самым предотвращая аварийную ситуацию.

Электропотребление данной установки напрямую зависит от заданной температуры, которую можно менять при помощи регулятора напряжения. Чем ниже температура, тем ниже электропотребление. Что касается выхода самого продукта, а в нашем случае – это творожная сыворотка, мы можем сохранить витамины, получить хорошие микробиологические показатели и избежать коагуляции белка.

Результаты исследования и их обсуждение

Был исследован процесс прямого нагрева творожной сыворотки со средними значениями основных технологических параметров: массовая доля сухих веществ – 4,2–7,4%, кислотность – 50–85 Т, плотность – 1019–1026 кг/м³, для реализации которого была собрана экспериментальная установка, механическая схема которой представлена на рис. 1.

Данная установка снабжена перемешивающим устройством, выполненным из диэлектрического материала. Электроды имеют плоско-параллельное расположение и используются для включения творожной сыворотки в электрическую цепь. Площадь электродов и расстояние между ними рассчитаны, руководствуясь необходимой температурой нагрева. Напряжение устанавливается с помощью электронного регулятора напряжения. Основные характеристики представлены в табл. 1.

Таблица 1
Характеристика установки для прямого нагрева

Материал электродов	12X18H10T
Расстояние между электродами, м	0,1
Площадь электродов, м ²	0,00045
Температура, °С	0–90
Объем емкости, л	1
Мощность, кВт	0,6

Электрическая схема экспериментальной установки представлена на рис. 2.

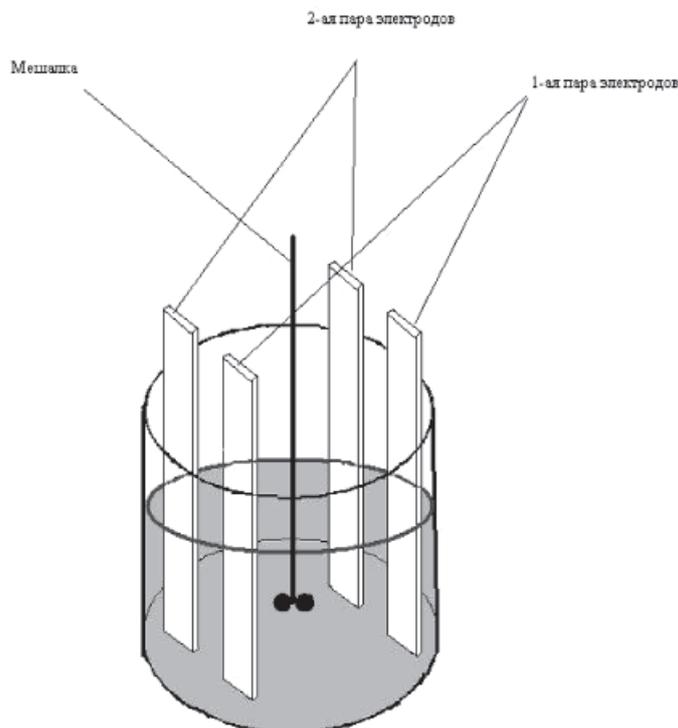


Рис. 1. Механическая схема экспериментальной установки

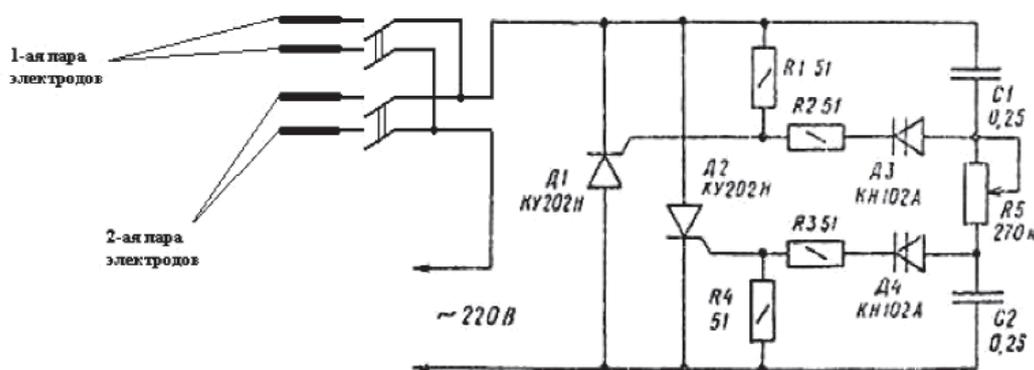


Рис. 2. Электрическая схема экспериментальной установки

Схема позволяет регулировать напряжение на активной нагрузке в пределах от 0 до 220 В. Мощность нагрузки может быть любой в пределах от 25 до 1000 Вт. Основные элементы регулятора напряжения в установке – тиристоры Д1, Д2, включенные встречно друг другу и параллельно нагрузке. Они поочередно пропускают ток то в одном, то в другом направлении.

При включении регулятора в сеть в первый момент оба тиристора закрыты, и конденсаторы заряжаются через резистор R5. Напряжение на нагрузке устанавливается с помощью перемещенного резистора R5,

который совместно с конденсаторами С1, С2 образует фазосдвигающую цепочку. Тиристоры управляются импульсами, формируемыми динисторами Д3, Д4. В некоторый момент, который определяется сопротивлением включенной в цепь части резистора R5, откроется один из динисторов (какой именно, зависит от полярности полупериода). Через него потечет ток разряда соединенного с ним конденсатора, поэтому вслед за динистором откроется и соответствующий тиристор. Через тиристор и, соответственно, через нагрузку потечет ток. В момент смены знака полупериода

тиристор закрывается, и начинается новый цикл зарядки конденсаторов, но уже в обратной полярности. Теперь открывается второй диод и второй тиристор. Особенность этой схемы в том, что в ней используются оба полупериода переменного тока и к нагрузке подводится полная, а не половинная мощность [4].

С целью апробации проведения данного процесса нагрев творожной сыворотки осуществлялся в нескольких режимах, а именно: при температурах 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 и 90 °С в течение 60 минут, с исключением возможности закипания данного продукта. В ходе исследования были получены следующие результаты, которые представлены в табл. 2.

Температура нагрева регистрировалась термометром, электропроводность и сопротивление сыворотки были получены расчетным путем с помощью полученных данных (силы тока и напряжения) в процессе прямого нагрева.

Электрическое сопротивление проводников II рода существенно зависит от температуры. С ее возрастанием увеличивается степень диссоциации молекул солей на ионы и их подвижность, вследствие чего сопротивление снижается (рис. 3), а проводимость, являясь величиной обратной удельному сопротивлению, соответственно повышается. График построен по усредненным значениям экспериментов, максимальное отклонение от средних значений не превышало $\pm 5\%$.

Таблица 2

Параметры творожной сыворотки в различных режимах нагрева

$T, ^\circ\text{C}$	Проба 1, Ом	Проба 2, Ом	Проба 3, Ом	Проба 4, Ом	Проба 5, Ом	Среднее ариф., Ом	$\gamma, \text{Ом}\cdot\text{м}$	$G, \text{Ом}\cdot\text{м}^{-1}$
20	745	850	852	820	780	797,5	3,59	0,27
30	605	710	635	670	700	657,5	2,96	0,33
40	530	595	600	580	575	562,5	2,53	0,39
50	475	505	490	510	485	490	2,21	0,45
60	440	450	420	460	430	445	2,00	0,49
70	415	400	430	400	390	407,5	1,83	0,54
80	400	405	410	415	420	402,5	1,81	0,55
90	390	400	410	370	390	395	1,87	0,53

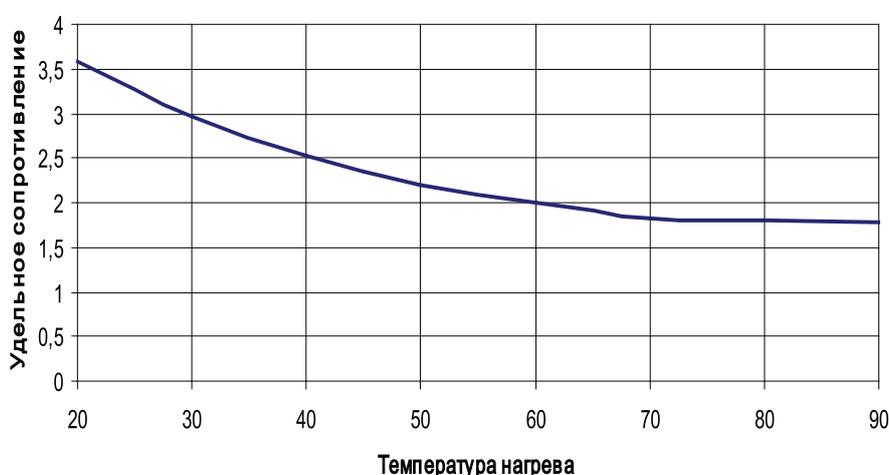


Рис. 3. Зависимость удельного сопротивления сыворотки от температуры

В диапазоне температур 20–90°C происходит падение удельного сопротивления жидкости в 2 раза, на такую же единицу изменяется мощность, потребляемая из сети. Это один существенный недостаток электродного нагрева, приводящий к завышению сечения питающих проводов и усложняющий расчет установок электродного нагрева [5].

Заключение

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Температура электродов соответствует температуре творожной сыворотки, что уменьшает скорость отложения солей жесткости на поверхности электродов.
2. Поскольку электроды являются металлическими пластинами, то перегореть они не могут и являются долговечными.
3. Применяя электроды, можно достичь плавного регулирования мощности нагревателя с помощью изменения площади касания электрода с нагреваемой жидкостью.
4. Экономическая и экологическая целесообразность применения данного технологического процесса состоит в использовании молочной сыворотки для производства ценных и полезных продуктов питания.

Список литературы

1. Залашко М.Б. Биотехнология переработки молочной сыворотки. – М.: Агропромиздат. 1990. – 192 с.
2. Косинцев В.И., Пьянков А.Г. Испытания выпарного аппарата электродного типа с прямым электронагревом: Методическое указание к проведению лабораторной работы по курсу «Процессы и аппараты химической технологии» // ТПИ. – Томск, 1979. – 11 с.
3. Костюков Д.М., Куленко В.Г., Дыкало Н.Я. Закономерности концентрирования творожной сыворотки методом нанофильтрации // Молочно-хозяйственный вестник. – 2012. – № 1. – С. 32–36.

4. Кублановский Я.С. Тиристорные устройства. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1987. – 112 с.: ил.

5. Тихонов Н.В. Исследование процессов концентрирования и ультрапастеризации соков методом прямого электронагрева: диссертация на соискание ученой степени канд. тех. наук. – Кемерово, 2013 – С. 67–68.

6. Храмов А.Г., Нестеренко П.Г. Рациональная переработка и использование белково-углеводного молочного сырья // Молочная промышленность. – М., 1998. – 105 с.

7. Храмов, А.Г Рыночная концепция полного и рационального использования молочной сыворотки // Молочная промышленность. – 2006. – № 6. – С. 5–6.

References

1. Zalashko M.B. Biotehnologija pererabotki molochnoj syvorotki. M.: Agropromizdat. 1990. 192 p.
2. Kosincev V.I., P'jankov A.G. Ispytanija vyparnogo apparata jelektrodnoho tipa s prjamym jelektroonagrevom: Metodicheskoe ukazanie k provedeniju laboratornoj raboty po kursu «Processy i apparaty himicheskoy tehnologii» // TPI. Tomsk, 1979. 11 p.
3. Kostjukov D.M., Kulenko V.G., Dykalo N.Ja. Zakonomernosti koncentrirovanija tvorozhnoj syvorotki metodom nanofil'tracii // Molochno-hozjajstvennyj vestnik. 2012. no. 1. pp. 32–36.
4. Kublanovskij Ja.S. Tiristornye ustrojstva. 2-e izd., pererab. i dop. M.: Radio i svjaz', 1987. 112 p.: il.
5. Tihonov N.V. Issledovanie processov koncentrirovanija i ul'trapasterizacii sokov metodom prjamogo jelektroonagreva: dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni kand. teh. nauk. Ke-merovo, 2013 pp. 67–68.
6. Hramcov A.G., Nesterenko P.G. Racional'naja pererabotka i ispol'zovanie belkovo-uglevodnogo molochnogo syr'ja // Molochnaja promyshlennost'. M., 1998. 105 p.
7. Hramcov, A.G Rynoch'naja koncepcija polnogo i racional'nogo ispol'zovanija molochnoj syvorotki // Molochnaja promyshlennost'. 2006. no. 6. pp. 5–6.

Рецензенты:

Лебедев Г.М., д.т.н., профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов и производств», ФГБОУ ВПО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности», г. Кемерово;

Осинцев А.М., д.т.н., заведующий кафедрой «Физика», ФГБОУ ВПО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности», г. Кемерово.

Работа поступила в редакцию 19.02.2015.