
ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ И ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Е.Г. Спринчан

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ПОЛУЧЕНИЯ БЕЛКОВО-МИНЕРАЛЬНОГО КОНЦЕНТРАТА ИЗ ВТОРИЧНОГО МОЛОЧНОГО СЫРЬЯ

*Институт прикладной физики АН Молдовы,
ул. Академией, 5, г. Кишинев, MD-2028, Республика Молдова, vrabie657@yahoo.com*

Одна из важнейших проблем, стоящих перед молочной промышленностью, отмечает Международная молочная федерация, – это полная и безотходная переработка молока [1]. Она имеет значительную экологическую составляющую, суть которой определяется используемыми традиционными технологиями производства молочных продуктов.

При сепарировании молока, производстве сметаны, сливочного масла, натуральных сыров, творога и молочного белка по существующим технологиям получают побочные продукты – обезжиренное молоко, пахту и молочную сыворотку, которые обобщаются термином – вторичное молочное сырье. По литературным данным, при производстве 1 т сливочного масла остается около 20 т обезжиренного молока и 1,5 т пахты, а 1 т сыра и творога – до 9 т молочной сыворотки [2]. В сыворотке содержатся полноценные составляющие молока, такие как белки, углеводы, витамины, минеральные вещества, и практически отсутствуют жиры. Содержание калорий в сыворотке минимально, а биологическая ценность ее высока, так как в ней остаются самая ценная белковая фракция молока – растворимые сывороточные белки и почти вся лактоза (табл. 1).

Таблица 1. Содержание белковой фракции молочной сыворотки [3]

Белковая фракция	Сухое содержание, %	Изоэлектрическая точка (pH)	Температура денатурации, °C
Лактальбумины: β-лактоглобулины	7–12	5,3	60–90
α-лактальбумины	2–5	4,2–4,5	60–100
Альбумины	0,7–1,3	4,7	75–90
Иммуноглобулины	1,9–3,3	5,5–6,8	75–90

Очень высокое биологическое и химическое потребление кислорода (коэффициенты БПК и ХПК – 5) молочной сывороткой при попадании ее в окружающую среду губительно сказывается на флоре и фауне, поскольку после получения первичных молочных продуктов в сыворотку переходят не только белки, но и продукты их частичного (пептиды) и полного гидролиза (аминокислоты). Именно поэтому молочная сыворотка в независимости от места и вида производства, а также от времени года требует дополнительной и безотходной переработки для завершения замкнутого цикла переработки молока. Эта проблема особенно обострилась в последние 10–15 лет в связи с увеличением в мире объемов производства молочных продуктов [4].

Известно много методов переработки молочной сыворотки с получением белковых концентратов, используемых в качестве различных добавок, в том числе и биологически активных. В последнее время большое значение придается приготовлению разных формул для детского питания на основе белковых концентратов, полученных из молочной сыворотки. В материнском молоке содержится до 60% сывороточных белков и до 40% казеинового белка [5]. Однако выделение белко-

вых фракций для этих целей требует соблюдения определенных режимов с целью сохранения их нативности и высокой степени чистоты. Из деминерализованной сыворотки за рубежом кроме детского питания производят целый спектр пищевых и кормовых продуктов. Использование сывороточных белков в кондитерской промышленности, благодаря их высокой эмульгирующей способности, привело к созданию новых продуктов, в том числе и пастообразных.

Развивающиеся и совершенствующиеся методы переработки молочной сыворотки можно объединить по следующим основным направлениям: термические, химические, диализные, электродиализные, ионообменные и мембранные методы, которые в свою очередь делятся на: обратный осмос, ультрафильтрацию, диафильтрацию, микрофильтрацию, нанофильтрацию. Все они имеют как преимущества друг перед другом, так и определенные недостатки [6]. Термические и химические методы ведут соответственно к денатурации (при температурах выше 50⁰С) и загрязнению белков химическими реагентами, что снижает биологическую ценность получаемых продуктов и сужает область их использования [7]. Применение высокоэффективных, но дорогостоящих мембранных методов (ультрафильтрационных) позволяет выделить максимальное количество белков. Однако чем меньше поры мембран, тем дороже становится их использование. Кроме того, это методы периодического действия, что приводит к уменьшению эффективности переработки [8]. Преимущество ионообменных методов заключается в том, что они позволяют фракционировать сывороточные белки. Но носители относятся к дорогим материалам и к тому же периодически требуются длительные дополнительные процедуры по восстановлению ионообменников [9]. При использовании электродиализа для обработки молочной сыворотки необходимы регулярная регенерация мембран и значительные энергетические затраты [10].

Анализ состояния вопроса позволяет заключить, что самый эффективный путь переработки молочной сыворотки - это использование технологий, основанных на комбинировании двух или более методов.

Результаты и их обсуждение

Целью проведенных исследований является оптимизация электрофизического метода обработки молочной сыворотки, основанного на электроактивации жидких сред, направленная на безотходную переработку молочной сыворотки с получением высококачественных продуктов [11]. Ранее приведены электрофизические и биохимические данные, описывающие и характеризующие этот способ [12, 13]. Его использование позволяет выделить около 60% белков от находящихся в исходной молочной сыворотке (ИМС) в виде белково-минерального концентрата (БМК) и получить депротеинизированную сыворотку (ДС), в которой содержатся большая часть аминокислот ИМС, достаточно высокий процент лактулозы, инвертируемой во время процесса из лактозы, а также остаточная лактоза.

На основе расчета баланса белка и миграции ионов через мембрану (данные по основным зольным элементам получены на анализаторе Beckman), а также анализа их роли в образовании белкового концентрата можно утверждать, что в процессе выделения белка в БМК в виде пены в основном участвуют ионы кальция, которые при определенных значениях рН среды соединяют молекулы белков, реагируя с активизированными дисульфидными связями последних (табл. 2). В этом случае на поверхности мембраны со стороны катодной камеры (КК) образуется плотный белковый осадок желтоватого оттенка, в формировании которого, как видно из результатов, участвовали фосфорсодержащие ионы. В результате постепенного осаждения белков происходит закупоривание разделяющей диафрагмы и увеличивается сопротивление, вызывающее повышение напряжения, что и наблюдается к концу процесса (табл. 5, 6). По расчетам изменения содержания белка при подаче ИМС в обе камеры на поверхности мембраны оседает значительное количество белка – примерно 6,45 г, что составляет около 51,4% от белка сыворотки, поступившей в катодную камеру, и 38,6% от белка, поступившего в электролизер. Этот весьма существенный недостаток определил необходимость поиска таких условий проведения процесса, которые позволяют либо снизить, либо полностью исключить осаждение белка на мембране. С этой целью был разработан и запатентован электролизер с диафрагмой, который позволяет очистить мембрану при ее закупоривании [14].

Ионы калия и натрия не участвуют в образовании белкового концентрата, что подтверждается их отсутствием на спектрограмме суммарного БМК, полученной электронно-зондовым рентгено-спектральным анализом, а остаются главным образом в ДС и частично задерживаются в осадке на мембране [12].

Таким образом, с целью оптимизации предложенного метода дополнительная селективная подача ионов кальция должна привести не только к повышению процентного выделения белка в БМК, но, очевидно, и к снижению напряжения, а соответственно - и энергетическим затратам.

Оптимизация проводилась по двум направлениям:

- изменение состава анодной жидкости с целью увеличения выхода белка и сохранения пригодности ДС для дальнейшей переработки;
- изменение типа мембраны с целью снижения энергозатрат и целенаправленного ведения процесса.

Таблица 2. Изменения количества белка и основных минеральных компонентов, происходящие при электрофизической обработке ИМС в катодной (КК) и анодной (АК) камерах (г, в указанном объеме)

№ п/п	Образцы	Объем, л	Количество белка, г	Са, г	Р, г	Na, г	К, г	Хлориды, г
1	ИМС, поступившая в КК	0,66	12,57	0,41	0,54	0,52	1,17	0,89
2	Смесь БМК и ДС, вышедшая из КК в виде пены	0,25	2,81	0,08	0,08	0,17	0,60	0,29
3	ДС, оставшаяся в КК по окончании процесса	0,36	3,67	0,05	0,01	0,24	0,56	0,36
4*	Суммарная смесь БМК и ДС, вышедшая и оставшаяся в КК	0,61	6,48	0,13	0,09	0,41	1,17	0,64
5	ИМС, поступившая в АК	0,39	4,17	0,12	0,31	0,51	0,69	0,51
6	Сыворотка, вышедшая и оставшаяся в АК после обработки	0,41	3,80	0,08	0,15	0,17	0,24	0,33
7*	ИМС, поступившая в обе камеры	1,05	16,74	0,49	0,59	0,78	1,92	1,29
8*	Сыворотка, вышедшая и оставшаяся в обеих камерах	1,02	10,29	0,21	0,16	0,58	1,40	0,97
9*	Осадок на мембране	0,03	6,46	0,28	0,44	0,20	0,51	0,31

* Приведенные расчетные данные.

Таблица 3. Изменения температуры при использовании разных растворов анодной жидкости (брезентовая мембрана, в обеих камерах – проточный режим, расход жидкости 5 мл/мин)

№ п/п	Время, мин	ИМС	10%CaCl ₂ в ДС	5%CaCl ₂ в ИМС	1%CaCl ₂ в ДВ	1%CaCl ₂ в ДС	1%CaCl ₂ в ДС
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
		Температура t, °С					
ИМС	0	10	18	10	10	8	9
1	5	16	22	12	12	9	11
2	10	21	25	16	18	14	14
3	15	24	28	20	21	18	19
4	20	27	30	24	24	20	22
5	25	30	32	28	28	30	26
6	30	34	34	33	30	31	30
7	35	36	36	36	35	31	34
8	40	38	36	37	38	34	36
9	45	41	37	37	39	38	38
10	50		40	38	42	41	39
11	55			37	44		
12	60				46		

Примечание. В скобках указаны номера вариантов.

В анодную камеру (АК) подавались растворы хлористого кальция разных концентраций. Растворителями служили ИМС, ДС и дистиллированная вода (ДВ). Диафрагмами – брезент, ультрафильтрационная и ионообменная катионовая МК-40 мембраны. Последняя позволяет мигрировать только положительным ионам. Эксперименты проводили при плотности тока $0,02 \text{ А/см}^2$ и примерно одинаковых расходах жидкости в обеих камерах. Оптимизировать процесс перехода белка в БМК путем увеличения скорости подачи ИМС в КК нецелесообразно, поскольку разбавление обрабатываемой сыворотки снижает процентный выход белка. Важно отметить, что когда в качестве анодной жидкости (АЖ) используются растворы хлористого кальция в разных растворителях, то не происходит осаждение белка на поверхности мембраны со стороны КК, как это прослеживается в опытах, где в АК подавалась ИМС, а также наблюдается более интенсивное образование пены.

Таблица 4. Изменения температуры при разных мембранах и составах анодной жидкости

№ п/п	Тип	Брезент			УФМ	МК-40	МК-40
	Режим	Проточный 5 мл/мин					Стац.
	Состав анодной жидкости	ИМС (1)	1%CaCl ₂ в ДВ (2)	1%CaCl ₂ в ДС (3)	ИМС (4)	2%CaCl ₂ в ДВ (5)	2%CaCl ₂ в ДВ (6)
	Время, мин	Температура t, °С					
ИМС	0	10	10	9	10	15	6
1	5	16	12	11	18	18	12
2	10	21	18	14	23	23	16
3	15	24	21	19	28	26	23
4	20	27	24	22	33	28	26
5	25	30	28	26	31	31	30
6	30	34	30	30	30	33	34
7	35	36	35	34	31	34	36
8	40	38	38	36	34	36	38
9	45	41	39	38	34	38	
10	50		42	39	33	39	
11	55		44		33	41	
12	60		46			42	

Ниже приводятся характеристики основных показателей процессов оптимизации.

Температурные характеристики вне зависимости от состава анодной жидкости и типа диафрагмы не влияют на выход белка (табл. 3, 4). Однако следует рекомендовать как предварительное, так и непрерывное охлаждение ИМС в процессе обработки во избежание приближения к нижнему температурному порогу денатурации.

Напомним, что для белков молочной сыворотки минимальная температура денатурации составляет $55\text{--}60^\circ\text{C}$. Во всех исследуемых вариантах температура обработки не превышала этих значений, что непосредственно отражает конечное качество получаемого продукта путем исключения термической денатурации.

Варьирование напряжения указывает на роль ионов кальция как в процессе выделения белка, так и в снижении энергозатрат. Изменение напряжения при разных концентрациях ионов в растворах АЖ и брезентовой мембране свидетельствует о наличии энергоносителей (табл. 5).

Процессы, характеризующие сопротивление мембраны, наглядно прослеживаются в табл. 6. Использование разных типов мембран непременно и отчетливо акцентирует важность и целенаправленность применения ионообменной мембраны.

При брезентовой мембране и разном составе анодной жидкости, особенно в случае использования раствора CaCl₂ в ДВ, осаждение белков на поверхности диафрагмы не наблюдается. Происходит более интенсивное вспенивание, вплоть до почти полного наполнения объема рабочей камеры. Очевидно, что интенсивная миграция ионов кальция через диафрагму способствует образованию

БМК. При замене брезентовой мембраны на ионообменную МК-40 наблюдаются значительное снижение напряжения (табл. 6, вариант 5) и существенное повышение процентного содержания белка в БМК (табл.10, вариант 5).

Таблица 5. Изменения напряжения при использовании разных растворов анодной жидкости (брезентовая мембрана, в обеих камерах - проточный режим, расход жидкости 5 мл/мин)

№ п/п	Время, мин	ИМС	10%CaCl ₂ в ДС	5%CaCl ₂ в ИМС	1%CaCl ₂ в ДВ	1%CaCl ₂ в ДС	1%CaCl ₂ в ДС
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Напряжение U, В							
1	5	28	15	20	26	24	24
2	10	26	18	20	26	22	24
3	15	26	18	18	25	21	23
4	20	26	18	20	23	23	24
5	25	27	18	24	24	25	26
6	30	27	20	26	23	24	25
7	35	27	20	22	26	23	24
8	40	28	21	20	26	24	25
9	45	28	21	20	26	25	25
10	50		22	20	26	28	26
11	55			18	27		
12	60				30		

Таблица 6. Изменения напряжения при разных мембранах и составах анодной жидкости

№ п/п	Тип мем-браны	Брезент			УФМ	МК-40	МК-40
	Режим	Проточный 5 мл/мин					Стац.
	Состав анодной жидкости	ИМС	1%CaCl ₂ в ДВ	1%CaCl ₂ в ДС	ИМС	2%CaCl ₂ в ДВ	2%CaCl ₂ в ДВ
	Время, мин	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Напряжение U, В							
1	5	28	26	27	35	19	27
2	10	26	26	24	30	16	24
3	15	26	25	23	32	16	22
4	20	26	23	24	33	15	20
5	25	27	24	26	31	15	20
6	30	27	23	25	30	15	20
7	35	27	26	24	31	15	19
8	40	28	26	25	34	16	19
9	45	28	26	25	34	16	19
10	50		26	26	33	16	19
11	55		27			17	
12	60		30			17	

При изменении pH среды в случае высокой концентрации хлористого кальция наблюдается незначительное увеличение активной кислотности (табл. 7, вариант 2), что происходит, очевидно, из-за высокого содержания ионов хлора, возможно, даже хлорорганических образований. Это нежелательно при использованном методе и сопряжено с необходимостью подбора оптимальной концентрации раствора CaCl₂ (табл. 7, варианты 3, 4). Почти во всех вариантах после 25–30 мин ведения процесса происходит резкий скачок pH от нейтральных значений до сильнощелочных. Это наблюда-

ется как при разных составах анодной жидкости, так и разных типах диафрагмы. При использовании в качестве основы анодной жидкости депротеинизированной сыворотки наблюдается резкое увеличение активной кислотности среды в КК, обусловленное, по-видимому, миграцией одновалентных ионов из АК, что приводит к обогащению ДС ионами калия и натрия.

Таблица 7. Изменения рН среды при использовании разных растворов анодной жидкости (брезентовая мембрана, в обеих камерах - проточный режим, расход жидкости 5 мл/мин)

№ п/п	Состав анодной жидкости	ИМС (1)	10%CaCl ₂ в ДС (2)	5%CaCl ₂ в ИМС (3)	1%CaCl ₂ в ДВ (4)	1%CaCl ₂ в ДС (5)	1%CaCl ₂ в ДС (6)
	Время, мин	рН среды					
ИМС	0	4,65	4,90	5,20	5,20	4,70	5,30
1	5	5,40	5,35	5,65	5,70	6,00	6,30
2	10	5,95	6,05	6,45	6,15	7,00	7,10
3	15	6,25	6,30	6,95	6,55	8,40	7,65
4	20	7,55	6,45	8,35	7,00	10,20	9,05
5	25	9,43	6,60	10,85	7,40	12,15	11,20
6	30	10,93	6,95	11,45	8,90	12,45	12,25
7	35	11,10	7,15	11,45	11,80	12,60	12,75
8	40	11,30	7,00	12,95	12,25	12,85	12,85
9	45		7,00	12,15	12,35	13,10	12,90
10	50			12,20	12,45	13,00	12,95
11	55			12,25	12,55		

Таблица 8. Изменения рН среды при разных мембранах и составах анодной жидкости

№ п/п	Тип мембраны	Брезент			УФМ	МК-40	МК-40
	Режим	Проточный, 5 мл/мин					Стационарный
	Состав анодной жидкости	ИМС (1)	1%CaCl ₂ в ДВ (2)	1%CaCl ₂ в ДС (3)	ИМС (4)	2%CaCl ₂ в ДВ (5)	2%CaCl ₂ в ДВ (6)
	Время, мин	рН среды					
ИМС	0	4,65	5,20	5,30	4,60	5,20	4,65
1	5	5,40	5,70	6,30	5,00	6,50	7,05
2	10	5,95	6,15	7,10	5,93	7,15	
3	15	6,25	6,55	7,65	6,38	7,50	10,45
4	20	7,55	7,00	9,05	7,40	8,55	
5	25	9,43	7,40	11,20	9,15	9,40	
6	30	10,93	8,90	12,25	10,20	10,65	10,95
7	35	11,10	11,80	12,75	10,78	11,25	
8	40	11,30	12,25	12,85	10,93	11,45	
9	45		12,35	12,90	11,00	11,85	
10	50		12,45	12,95	11,15	11,90	
11	55		12,55				

На основе данных табл. 9 и 10 можно утверждать, что использование ионообменной мембраны МК-40 и раствора CaCl₂ в ДВ позволяет повысить процентный выход белка в БМК до 70%, получить депротеинизированную сыворотку, не содержащую химических реагентов, снизить энергозатраты и сократить время процесса до 10–20 мин (табл. 10, вариант 5).

Довольно высокое содержание лактулозы в ДС свидетельствует о реакции изомеризации лактозы в лактулозу в процессе электрофизической обработки, что позволяет осуществлять ее дальнейшую переработку с целью доинверсирования остаточной лактозы, а следовательно, создания безотходной технологии переработки молочной сыворотки.

Таблица 9. Изменения количества белка в БМК при использовании разных растворов анодной жидкости (брезентовая мембрана, в обеих камерах - проточный режим расхода жидкости 5 мл/мин)

№ п/п	Состав анодной жидкости	ИМС (1)	10%CaCl ₂ в ДС (2)	5%CaCl ₂ в ИМС (3)	1%CaCl ₂ в ДВ (4)	1%CaCl ₂ в ДС (5)	1%CaCl ₂ в ДС (6)
	Время, мин	Содержание белка Q, %					
ИМС	0	0	0	0	0	0	0
1	5	36	41	27	27	36	39
2	10	44	45	34	31	41	45
3	15	49	57	43	36	53	52
4	20	54	58	49	41	50	54
5	25	59	70	50	43	51	53
6	30	62	81	52	50	53	58
7	35	59		53	45	43	56
8	40	59		66	44	51	57
9	45	59		53	52	59	57
10	50			54	50	57	56
11	55			56	44		

Таблица 10. Изменения количества белка в БМК при разных мембранах и составах анодной жидкости

№ п/п	Тип мембраны	Брезент			УФМ	МК-40	МК-40
	Режим	Проточный 5 мл/мин					Стационарный
	Состав анодной жидкости	ИМС (1)	1%CaCl ₂ в ДВ (2)	1%CaCl ₂ в ДС (3)	ИМС (4)	2%CaCl ₂ в ДВ (5)	2%CaCl ₂ в ДВ (6)
	Время, мин	Содержание белка Q, %					
ИМС	0	0	0	0	0	0	0
1	5	36	27	39	39	55	40
2	10	44	31	45	43	59	
3	15	49	36	52	48	60	52
4	20	54	41	54	50	67	
5	25	59	43	53	54	64	
6	30	62	50	58	57	70	35
7	35	59	45	56	56	65	
8	40	59	44	57	52	69	
9	45	59	52	57	53	70	
10	50		50		52	70	
11	55		44			66	
12	60					68	

Таким образом, подобраны условия, позволяющие получить высококачественные продукты - белково-минеральный концентрат и депротеинизированную сыворотку с высоким содержанием лак-

тулозы. Проведенные исследования являются очередным этапом в цепочке оптимизации путем комбинирования разных параметров и условий обработки предложенного метода, цель которых – получение экологически чистых и высококачественных продуктов для употребления как в пищевой, так и в фармацевтической промышленности. Разработка установки непрерывного действия как отдельного звена в технологической линии получения БМК и лактулозного продукта является предметом дальнейших исследований для достижения указанной цели.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кравченко Э.Ф.* Новые разработки по рациональному использованию молочной сыворотки. Программа международного форума «Молочная индустрия 2006» /Переработка вторичного молочного сырья/Пути рационального использования молочной сыворотки (Москва, 30 января – 4 февраля 2006 г.)
2. *Храмцов А.Г., Евдокимов И.А., Рябцева С.А., Виноградская С.Е., Дудченко Н.И. *, Мячин А.Ф., Полищук Д.О.* Научно-технические основы экспертизы вторичного молочного сырья и получаемых из него продуктов / *МГУПБ, г. Москва. Вестник СевКавГТУ, серия «Продовольствие», №1 (6), 2004 © Северо-кавказский государственный технический университет, <http://www.ncstu.ru>.
3. *Храмцов А.Г.* Молочная сыворотка. М.: Агропромиздат, 1990. 240 с.
4. *Храмцов А.Г., Суюнчев О.А. *, Рудаков А.С., Жилина М.А., Батдыев Ч.М.* Использование депротеинизированной подсырной сыворотки для производства напитков /*ФГУП НИИКИМ, г. Ставрополь. Вестник СевКавГТУ, серия «Продовольствие», №1 (7), 2004© Северо-кавказский государственный технический университет, <http://www.ncstu.ru>.
5. Introduction to Dairy Science and Technology: Milk History, Consumption, Production, and Composition Agriculture and Agri-Food Canada.
6. *Сенкевич Т., Ридель К.Л.* Молочная сыворотка: переработка и использование в агропромышленном комплексе. М.: Агропромиздат, 1989.
7. *Храмцов А.Г., Лафишев А.Ф. *, Суюнчев О.А. **.* Аспекты производства мягкого сыра на основе термокислотной коагуляции белков *ЗАО Хладокомбинат **ФГУП НИИКИМ Вестник СевКавГТУ, серия «Продовольствие», №1 (6), 2003© Северо-кавказский государственный технический университет, <http://www.ncstu.ru>.
8. Whey Membrane Filtration Applications ©2005, Ionics Incorporated. All rights reserved worldwide. This page was last updated on 4 апреля 2006 г. 22:42:47.
9. *В.В.Молочников, П.Г.Нестеренко, НА Богданова, О.Г.Ковалева, Л. И. Водолазов, Е.С.Астахов.* Влияние массы ионита и продолжительности процесса на степень деминерализации молочной сыворотки. Минск, 1996 г. Тезисы докладов Международной научно-практической конференции «Энергосберегающие технологии переработки сельскохозяйственного сырья».
10. *Bruce T. Batchelder* Electrodialysis Applications in Whey Processing, *Ionics Incorporated* This paper was originally presented at the 1986 International Whey Conference, October 28, 1986, Chicago, Illinois, USA.
11. *Бахир В.М.* Электрохимическая активация. М.: ВНИИИ мед. техники, 1992.
12. *Спринчан Е.Г., Болога М.К.* Солевой состав белково-сывороточного концентрата, полученного электроконтактным способом // Электронная обработка материалов. 2006. № 6. С. 57–65.
13. *Болога М.К., Спринчан Е.Г., Болога А.М.* Выделение лактулозного продукта и белково-минерального концентрата // Электронная обработка материалов. 2008. № 5. С. 78–84.
14. а 2006 0171 *Болога М.К., Максимук Е.П., Кондратенко С.П., Спринчан Е.Г.* Электролизер с диафрагмой от 2006-06-29.

Поступила 26.09.08

Summary

The analysis of the problem state is presented and it is underlined the urgency of whey processing. The necessity of combining various processes to obtain the optimum conditions is argued. There is conducted the material balance of the basic ash elements and proteins, the ways of optimization of whey electro-physical treatment and characteristics of the main engineering parameters. The anode liquid composition and diaphragm types are described. The problems of further research with the aim to work out the wasteless processing of whey with obtaining the high-quality products are noted.