

*И.В. Миклух, к.т.н., Т.Н. Забело**Институт мясо-молочной промышленности, Минск, Республика Беларусь*

МЕМБРАННАЯ ОБРАБОТКА МЕЛАССЫ МОЛОЧНОЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ ДАЛЬНЕЙШЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

*I. Miklukh, T. Zabela**Institute for the Meat and Dairy Industry, Minsk, Republic of Belarus*

MEMBRANE PROCESSING DAIRY MOLASSES AND PROSPECTS OF ITS FURTHER USE

e-mail: inmiklukh@mail.ru, list.zabelo@tut.by

В статье представлены результаты мембранных способов обработки мелассы молочной, приведены экспериментальные данные процесса ультрафильтрации и электродиализа мелассы, установлены рекомендуемые режимы работы баромембранной установки. Выявлено, что при совместном использовании ультрафильтрации и электродиализа мелассы молочной степень удаления азотсодержащих веществ составила свыше 40%, степень деминерализации – свыше 90%. что обуславливает доброкачественность мелассы свыше 90%. Показано, что предложенные методы обработки у мелассы позволяют увеличить возможные сферы ее дальнейшего использования. Результаты исследований рекомендуются молокоперерабатывающим предприятиям, осуществляющим выпуск молочного сахара.

The article presents the results of membrane methods of processing molasses milk, experimental data of the process of ultrafiltration and electrodialysis of molasses, the recommended modes of operation of the baromembrane installation. It was found that the combined use of ultrafiltration and electrodialysis molasses milk removal of nitrogen-containing substances was more than 40%, the degree of demineralization - more than 90%. what determines the purity of the molasses over 90%. It is shown that the proposed methods of treatment of molasses allow to increase the possible areas of its further use. The results of the research are recommended for milk processing enterprises producing milk sugar.

Ключевые слова: меласса молочная; молочный сахар; доброкачественность; ультрафильтрация; деминерализация; использование мелассы.

Keywords: milk molasses; milk sugar; benign; ultrafiltration; demineralization; the use of molasses.

Введение. В настоящее время переработка мелассы, полученной при производстве молочного сахара, является нерешенной проблемой в отечественной практике. Содержание лактозы в мелассе молочной достигает 70%, однако ее переработка затрудняется содержанием азотистых и минеральных веществ. В связи с этим для повышения производительности при выпуске молочного сахара предложены современные мембранные методы обработки мелассы – электродиализная и баромембранная обработка, позволяющие совершенствовать традиционный процесс производства молочного сахара за счет снижения потерь основного компонента – лактозы.

Целью работы явилось изучение продуктов обработки мелассы молочной и перспективных направлений ее использования. В Республике Беларусь около 40 предприятий занимается переработкой молока. Согласно «Программе развития молочной отрасли в 2016–2020 годах», валовое производство сырого молока к 2020 году должно возрасти до 9,2 млн. тонн. Объем производства сыров должен увеличиться на 30%, что неизбежно приведет к увеличению объема сыворотки, которую необходимо будет переработать.

Наряду с увеличением объемов производства необходимым является и повышение эффективности производства молочной продукции, которое достигается рациональным использованием всех сырьевых ресурсов на принципах малоотходной и безотходной технологии.

Молочная сыворотка и ее компоненты являются ценнейшим молочным сырьем для переработки в пищевые продукты и основным сырьем для производства молочного сахара в Республике Беларусь, при изготовлении которого образуется побочный продукт – меласса – переработка которой в настоящее время не предусмотрена. При этом потери лактозы с мелассой и промывными водами составляют более 65% от общей суммы потерь.

Теоретически установлено, что для производства 1 т молочного сахара-сырца с массовой долей лактозы $92 \pm 2,5\%$ в среднем необходимо 20–25 т молочной сыворотки [1]. Формула (1) отражает расчет затрат сырья при производстве молочного сахара:

$$P_c = \frac{L_n}{L_c \times (1 - 0,01 \times P)}, \quad (1)$$

где P_c – норма расхода молочной сыворотки на 1 т молочного сахара;

L_n – массовая доля лактозы в молочном сахаре (нормативное значение), %;

L_c – массовая доля лактозы в молочной сыворотке, %;

P – технологические потери лактозы, %.

На практике нормы расхода сырья значительно выше и зависят от содержания лактозы в молочной сыворотке (подсырной или творожной) и технологических особенностей получения молочного сахара (технологических потерь).

Установлено, что основные потери при производстве молочного сахара обусловлены отходом лактозы с мелассой и промывными водами. Но следует понимать, что меласса является ценным лактозосодержащим сырьем и, в зависимости от технологии получения молочного сахара, может содержать от 18% до 35% лактозы (порядка 70% в сухом веществе). Кроме того, в мелассе содержится повышенное содержание минеральных солей (от 16 до 24% в сухом веществе) и азотистых веществ (от 7 до 11% в сухом веществе), которые тем самым обуславливают ее высокую кислотность (90°Т и выше) и неблагоприятно влияют на ее дальнейшую переработку.

Целью настоящих исследований является поиск методов обработки мелассы, позволяющих открыть широкие возможности ее дальнейшей переработки и использования.

Материалы и методы исследований. В качестве исходного сырья использовали мелассу молочную, полученную при производстве молочного сахара по различным технологиям на ГП «Молочный гостинец» и ОАО «Березовский сыродельный комбинат».

Определение характеристик различных образцов мелассы молочной, а также продуктов ее обработки мембранными методами проводили в производственно-испытательной лаборатории РУП «Институт мясо-молочной промышленности» и РУП «Научно-практический центр гигиены», при этом использовали стандартные методы для молочной промышленности.

Результаты исследования. В настоящее время в Республике Беларусь получение молочного сахара путем переработки сыворотки осуществляют в соответствии с требованиями технических условий ТУ РБ 02906526.076-99 «Сахар молочный». При этом предусмотрены две технологии, отличающиеся различным способом отделения белков из сыворотки. Технологические блок-схемы отражены на рисунке 1.

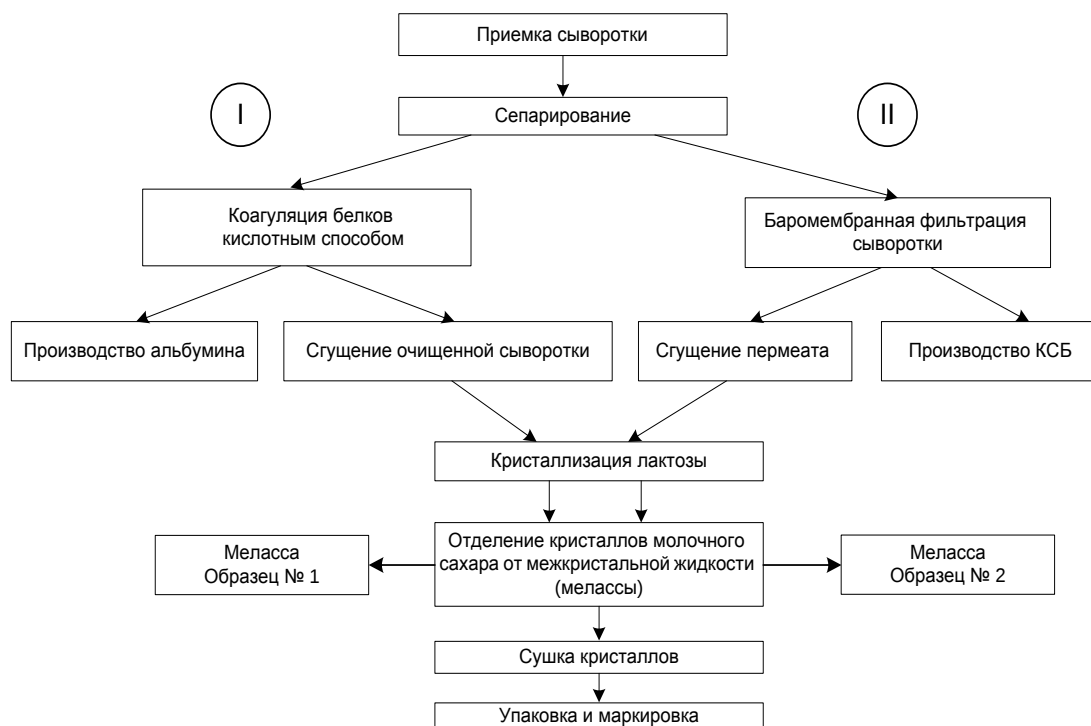


Рисунок 1 – Технологические блок-схемы получения молочного сахара

Источник: собственная разработка.

Производство молочного сахара по указанным технологическим схемам основано на выделении из сыворотки основного компонента – лактозы, при этом побочным продуктом образующемся при производстве молочного сахара является меласса. Следует отметить, что в зависимости от технологии очистки от белковых составляющих обезжиренной сыворотки, образцы меласс могут отличаться по своему составу.

В ходе выполнения исследований изучены компонентный состав и физико-химические свойства образцов мелассы молочной, полученных на ГП «Молочный гостинец» (образец №1) и ОАО «Березовский сыродельный комбинат» (образец №2). Данные результатов представлены в таблице 1.

По результатам анализа, установлено, что два образца характеризуются высоким содержанием лактозы, что обуславливает их доброкачественность свыше 70%, наряду с этим в образцах отмечено высокое содержание золы (17% и 24% от сухих веществ в образцах мелассы №1 и №2 соответственно). Кроме того, в образце мелассы №2 отмечалась высокая кислотность, которая обусловлена наличием кислых солей, белка, диоксида углерода, кислот (молочной, лимонной, аскорбиновой, свободными жирными и др.), что согласуется с данными исследований К.К. Горбатовой [2]. Из данных, представленных в таблице 1, также можно отметить, что содержание белка в сухом веществе образцов мелассы № 1 и № 2 составило 11,28% и 7,07% соответственно. Результаты проведенных исследований показали, что в целях полного использования основного компонента мелассы – лактозы, необходима подготовка сырья, основанная на отделении белка и минеральных веществ.

По данным информационных источников очистка молочного сырья от азотистых веществ (белка) возможно путем проведения предварительной тепловой коагуляции белков и последующего сепарирования/центрифугирования или применения ультрафильтрации, а также использования ферментных препаратов (протеаз) [1, 3–5]. По данным О.В. Дымара [6] для очистки мелассы от минеральных солей целесообразно использовать деминерализацию методом электродиализной обработки.

Таблица 1 – Компонентный состав и физико-химические свойства образцов мелассы молочной

№ п/п	Наименование показателя	Единица измерения	Образцы мелассы	
			№ 1	№ 2
1	Массовая доля сухих веществ	%	32,8	23,7
2	Массовая доля золы	%	5,57	4,58
3	Массовая доля белка	%	3,70	1,60
4	Массовая доля лактозы	%	23,6	17,5
5	Плотность	кг/м ³	1165	1098
6	Активная кислотность	pH	4,37	5,60
7	Титруемая кислотность	°Т	386	62
8	Удельная проводимость	мСм/см	36,60	18,43
9	Содержание кальция	%	0,167	0,072
		% золы	2,99	1,63
10	Содержание магния	%	0,040	0,032
		% золы	0,72	0,72
11	Содержание фосфора	%	0,46	0,37
		% золы	8,26	8,37
12	Содержание калия	%	2,37	1,176
		% золы	42,56	26,60
13	Содержание натрия	%	0,641	0,053
		% золы	11,51	12,0
14	Содержание хлор-иона	%	-	1,6
		% золы	-	36,2
15	Доброкачественность	%	71,9	73,8

Источник: собственная разработка.

Данные таблицы 1 подтверждают тот факт, что для образца мелассы №1, содержащего большее количество белка по сравнению с образцом мелассы №2, обязательным является предварительное отделение белковых составляющих перед электродиализной обработкой.

Отделение белковых составляющих из мелассы молочной методом ультрафильтрации проводили на лабораторной баромембранной установке, оснащенной рулонным спиральным мембранным элементом NanoUF 2521-M50PS (ЗАО «РМ Нанотех», г. Владимир, Российская Федерация).

Согласно исследованиям Е.А. Фетисова [7] скорость фильтрации зависит от величины давления фильтрации, температуры, скорости потока в межмембранном канале, активной кислотности молочного сырья и массовой доли белка в нем. Именно эти факторы оказывают наибольшее воздействие на толщину и свойства слоя геля, образующегося на поверхности мембраны.

Для оптимизации процесса ультрафильтрации мелассы был проведен полный двухфакторный эксперимент в пакете STATGRAPHICS Plus, при этом параметрами оптимизации (функцией отклика) выступал поток фильтрата (Y), на который оказывают влияние два фактора:

- давление на входе в мембрану (X_1);
- температура процесса ультрафильтрации (X_2).

Для построения математических моделей было применено центральное композиционное ротатабельное униформпланирование и выбран полный факторный эксперимент 2^2 (ПФЭ 2^2) со звездными точками. Математическую обработку результатов экспериментов осуществляли методом регрессионного анализа [8–10].

В соответствии с матрицами планирования, проводились экспериментальные обработки мелассы на ультрафильтрационной установке с фиксированием значений потока фильтрата Y_1 , давления X_1 (пределы варьирования 0,05–0,30 МПа), температуры X_2 (пределы варьирования 15–45°C).

С учетом максимального значения коэффициента детерминации был определен оптимальный тип математической зависимости: полиномиальная зависимость второго порядка (коэффициент детерминации $R^2 = 96,29$). Результаты регрессионного анализа процесса ультраfiltrации мелассы, в том числе поверхность отклика потока фильтрата (Y) представлены на рисунке 2.

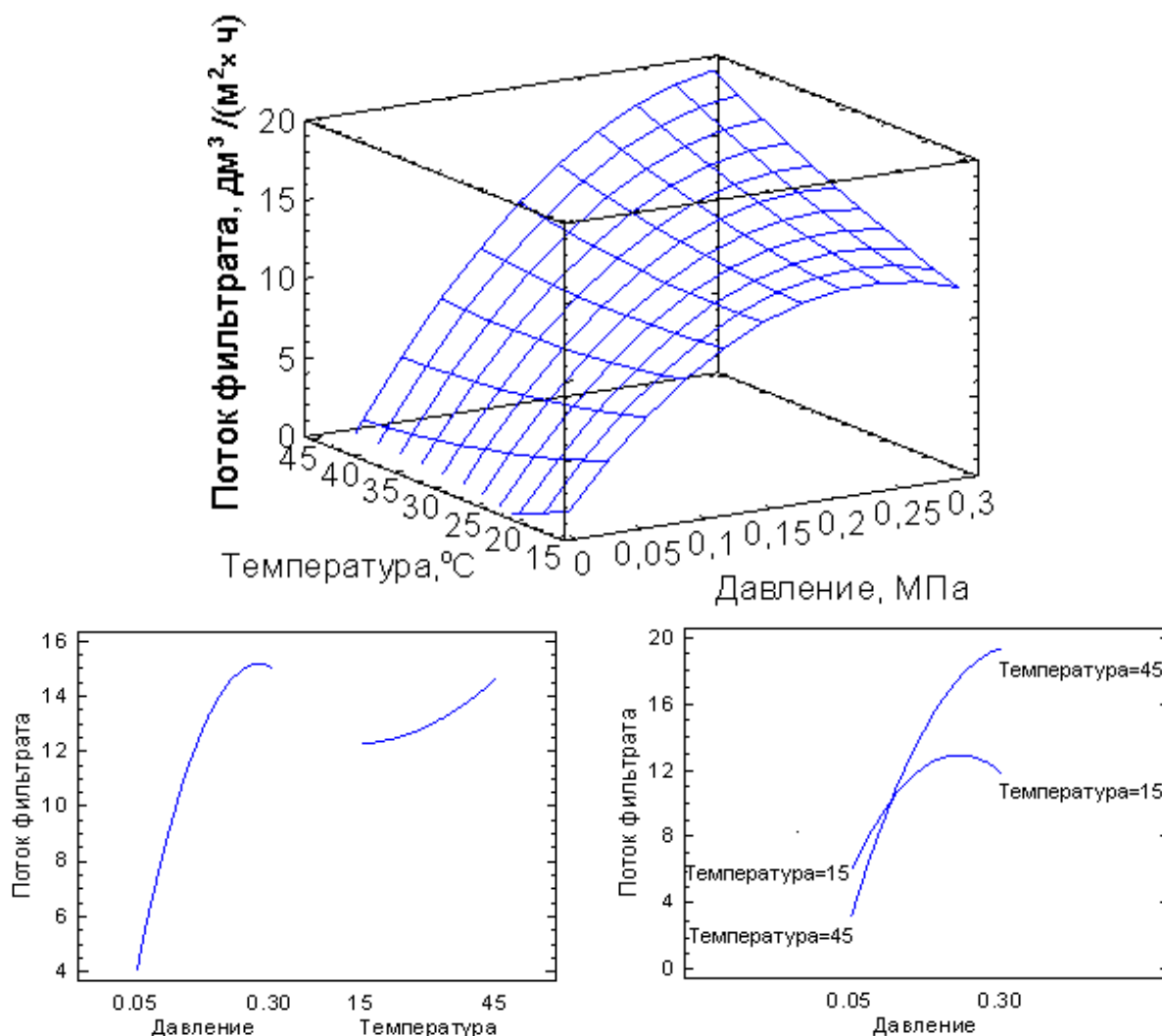


Рисунок 2 – Влияние температуры X_1 и давления X_2 на изменение потока фильтрата мелассы Y при ее ультраfiltrации

Источник: собственная разработка.

На рисунке 2 видно, что при увеличении значений факторов, влияющих на процесс ультраfiltrации мелассы, возрастала и величина потока фильтрата, максимальное значение которого было достигнуто при максимальных значениях варьируемых факторов и составило $20,1 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$.

С целью определения степени влияния каждого отдельного фактора и их совместного влияния на функцию отклика, построена карта Парето оценки значимости исследуемых факторов, которая отражена на рисунке 3.

Из анализа карты Парето, описывающей зависимость потока фильтрата от режимных параметров процесса ультраfiltrации, видно, что фактор температуры X_2 является незначимым, наибольшей степенью значимости обладает фактор давление X_1 .

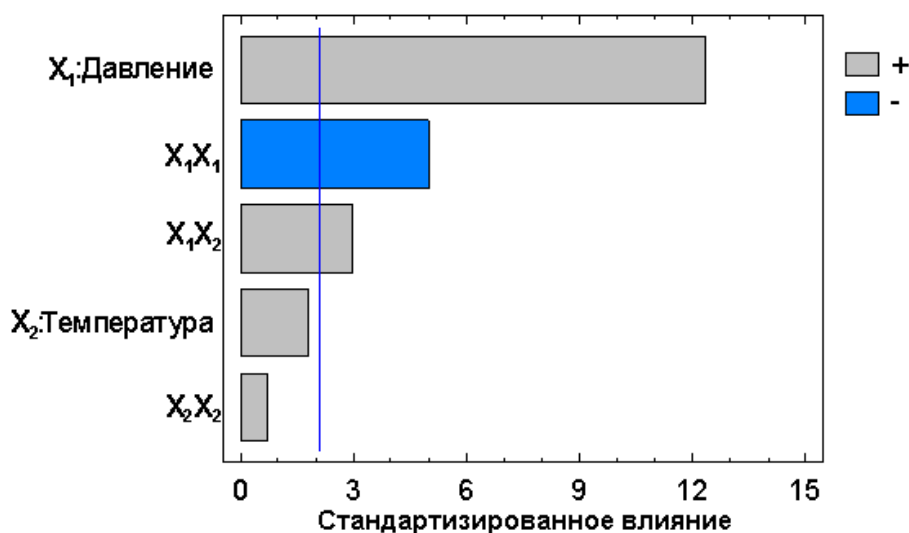


Рисунок 3 – Степень влияния температуры X_1 и давления X_2 на изменение потока фильтрата мелассы Y при ее ультрафильтрации

Источник: собственная разработка.

На основании данных эксперимента с учетом значимости факторов получена математическая зависимость, которая позволяет установить рекомендуемые режимные параметры процесса ультрафильтрации мелассы (давление и температуру) с целью регулирования выхода получаемых продуктов (концентрата и фильтрата).

Уравнение регрессии, являющееся математической моделью процесса ультрафильтрации и позволяющее определить производительность установки, выраженную потоком фильтрата в зависимости от режимных параметров (температура и давление), представлено формулой (2):

$$Y = 5,5 + 79,3X_1 - 218,2X_1^2 + 1,4X_1X_2 \quad (2)$$

Установлено, что рекомендуемым режимом ультрафильтрационной обработки мелассы на баромембранной установке, оснащенной рулонным спиральным мембранным элементом NanoUF 2521-M50PS, является максимально допустимое давление для данного мембранного элемента: 0,15–0,30 МПа; температура 30–35°C, так как данный фактор является незначимым.

На установке ультрафильтрации обрабатывали образцы мелассы молочной, полученной при производстве молочного сахара (образец №1 подвергли ультрафильтрации после оттаивания в течение 12 ч.), при рекомендуемых режимах: давление на входе в мембрану 0,15 МПа, температура процесса 30–35°C. При этом получали УФ-концентраты и УФ-фильтраты мелассы, компонентный и физико-химический состав которых представлен в таблице 2.

Деминерализацию УФ-фильтратов образцов мелассы вели на электродиализной установке типа P1 EDR-Y, оснащенной двумя пакетами мембран (50 пар в пакете, площадь пакета мембран 4,04 м²) и оборудованной кондуктометрами, датчиками активной кислотности pH, силы тока, напряжения для определения основных параметров работы установки в потоке. Данная установка периодического действия и работает по циркуляционной схеме.

Таблица 2 – Компонентный состав, физико-химические показатели и минеральный состав образцов мелассы молочной и продуктов ее ультрафильтрации и деминерализации

Наименование показателя	Единица измерения	Результаты									
		Образец №1					Образец №2				
		Меласса исх	УФ-конц	УФ-фильтрат	УФ-ДМ-фильтрат	Конц солей	Меласса исх	УФ-конц	УФ-фильтрат	УФ-ДМ-фильтрат	Конц солей
Массовая доля сухих веществ	%	32,8	30,0	28,9	24,1	1,02	23,7	20,9	18,0	15,6	1,2
Массовая доля лактозы	%	23,6	20,0	21,9	22,3	-	17,5	14,7	14,6	14,6	-
Массовая доля золы	%	5,57	5,16	4,81	0,26	0,66	4,58	3,93	2,33	0,18	1,05
Массовая доля общего азота	%	0,58	0,74	0,34	0,21	0,01	0,25	0,34	0,17	0,10	0,007
Массовая доля общего белка	%	3,70	4,72	2,17	1,34	0,06	1,60	2,17	1,08	0,64	0,04
Массовая доля небелкового азота	%	0,36	0,36	0,30	0,19	0,005	0,16	0,17	0,16	0,10	0,005
Активная кислотность	ед. рН	4,37	4,39	4,40	4,21	5,90	5,60	5,59	5,65	4,86	6,05
Титруемая кислотность	°Т	386	346	318	44	23	62	69	56	7,5	8,0
Удельная проводимость	мСм/см	36,60	24,50	34,95	1,75	20,8	18,43	19,86	22,68	0,92	16,87
Плотность	кг/м ³	1165	1140	1175	1095	1005	1098	1108	1085	1053	1005
Доброкачественность	%	71,9	66,7	75,8	92,5	-	73,8	70,3	81,1	93,6	-
Содержание кальция	г/л	1,665	2,341	0,888	0,073	0,893	0,926	3,124	0,180	0,036	1,774
	%	0,167	0,234	0,089	0,007	0,089	0,093	0,312	0,018	0,004	0,177
	% СВ	0,51	0,78	0,32	0,04	8,76	0,51	1,45	0,10	0,03	14,79
	% золы	2,99	4,54	1,85	2,81	13,54	3,03	7,95	0,77	2,02	16,90
Содержание магния	г/л	0,401	0,444	0,347	0,035	0,103	0,289	0,705	0,122	0,009	0,279
	%	0,040	0,044	0,035	0,004	0,010	0,029	0,071	0,012	0,001	0,028
	% СВ	0,12	0,15	0,12	0,02	1,01	0,16	0,33	0,07	0,01	2,33
	% золы	0,72	0,86	0,72	1,37	1,57	0,95	1,79	0,52	0,53	2,67
Содержание фосфора	%	0,46	0,4	0,42	0,07	0,02	0,37	0,43	0,27	0,06	0,04
	% СВ	1,40	1,33	1,51	0,34	1,96	2,02	2,00	1,49	0,43	3,33
	% золы	8,26	7,75	8,73	26,92	3,03	12,09	10,94	11,59	33,33	3,81
Содержание калия	г/л	23,705	28,499	23,390	1,936	2,220	8,959	10,375	8,035	0,274	2,807
	%	2,371	2,850	2,339	0,194	0,222	0,896	1,038	0,804	0,027	0,281
	% СВ	7,23	9,50	8,38	0,95	21,77	4,90	4,83	4,44	0,20	23,39
	% золы	42,56	55,23	48,63	74,48	33,64	29,28	26,40	34,49	15,26	26,73
Содержание натрия	г/л	6,413	6,833	5,608	0,496	0,554	2,968	3,250	2,656	0,259	1,050
	%	0,641	0,683	0,561	0,050	0,055	0,297	0,325	0,266	0,026	0,105
	% СВ	1,96	2,28	2,01	0,24	5,44	1,62	1,51	1,47	0,19	8,75
	% золы	11,51	13,24	11,66	19,10	8,40	9,70	8,27	11,40	14,43	10,00

Источник: собственная разработка.

Деминерализации подвергали образцы мелассы одинаковой массы. Процесс деминерализации осуществляли при температуре 10–15°C и напряжении на пакете мембран 64 В: 1,2 В на пару мембран и 4 В на две электродные группы (контактная пластина – электродный раствор), что обеспечивало поток дилуата и концентрата 0,7дм³/ч. Электродиализ образцов мелассы вели до достижения удельной электропроводности дилуата менее 1 мСм/см.

Определено, что при ультрафильтрации в фильтрат перешло на 4% и 7,3% больше лактозы, по сравнению с ее содержанием в мелассе исходной и составило 75,8% и 81,1% в сухом веществе УФ-фильтратов образцов мелассы №1 и №2 соответственно. Массовая доля общего белка в фильтрате снизилась на 3,77% и 0,75% по сравнению с мелассой исходной и составила 7,5% и 6,0% в сухом веществе продукта, степень удаления белка УФ-фильтратах образцов мелассы №1 и №2 составила 33% и 11% соответственно. Процесс ультрафильтрации образца №2 мелассы позволил снизить зольность в УФ-фильтрате на 50%, в образце №1 – всего лишь на 13,6%. При этом после ультрафильтрации в фильтрате в большей части остаются одновалентные ионы калия и натрия и удаляются двухвалентные ионы кальция (около 40%) и магния (около 50%). По результатам собственных исследований пониженное содержание двухвалентных ионов позволяет ускорить процесс электродиализа, поскольку двухвалентные ионы удаляются значительно медленнее одновалентных.

При дальнейшей обработке методом электродиализа, за счет удаления практически всех минеральных веществ, содержание лактозы в УФ-ДМ-фильтрате увеличилось в среднем на 15% по сравнению с содержанием лактозы в исходном УФ-фильтрате мелассы и тем самым доброкачественность мелассы составила свыше 90%. Степень деминерализации УФ-ДМ-фильтрата по сравнению с УФ-фильтратом мелассы также составила свыше 90%. Кроме этого в процессе электродиализной обработки происходит снижение содержания в обрабатываемом сырье белковых компонентов, так массовая доля общего белка в УФ-ДМ-фильтрате мелассы снизилась на 1,9–1,95% по сравнению с УФ-фильтратом мелассы и составила 4,1–5,56% общего белка, степень удаления белковых веществ за счет электродиализа составила 26,5–30%.



Исходная меласса образца № 1 и продукты ее обработки



Исходная меласса образца № 2 и продукты ее обработки

Рисунок 4 – Фотографии образцов мелассы и продуктов ее обработки с использованием ультрафильтрации и электродиализа

Источник: собственная разработка.

В целом, при совместном использовании ультрафильтрации и электродиализа, степень удаления белка составила 58% и 42% для образцов мелассы №1 и №2 соответственно; степень деминерализации – свыше 90%. Наглядные результаты обработки образцов мелассы молочной с использованием методов ультрафильтрации и электродиализа представлены на рисунке 4.

В зависимости от состава продукты обработки мелассы отличаются по цвету и консистенции (рисунок 4). Несмотря на присутствие белка фильтраты мелассы прозрачные в отличие от мелассы исходной и УФ-концентрата мелассы. По мнению А.И. Тамима [11] это объясняется тем, что в фильтрате присутствуют белковые соединения с небольшой молекулярной массой (не больше 50 кДа). Также продукты различаются по плотности, величина которой изменяется в зависимости от состава. Так продукт с большим содержанием лактозы и солей будет иметь большую плотность, по сравнению с продуктом, содержащим еще и белки, исходя из значений плотности компонентов молока: белок – $1451,1 \text{ кг/м}^3$, лактоза – $1545,0 \text{ кг/м}^3$, минеральные соли – $3000,0 \text{ кг/м}^3$.

Поскольку меласса относится к лактозосодержащему сырью, определяющим показателем для нее является доброкачественность (Д) – процентное соотношение лактозы и сухих веществ [2]. Данный показатель в процессе различных обработок мелассы изменяется, что отражено на рисунке 5.

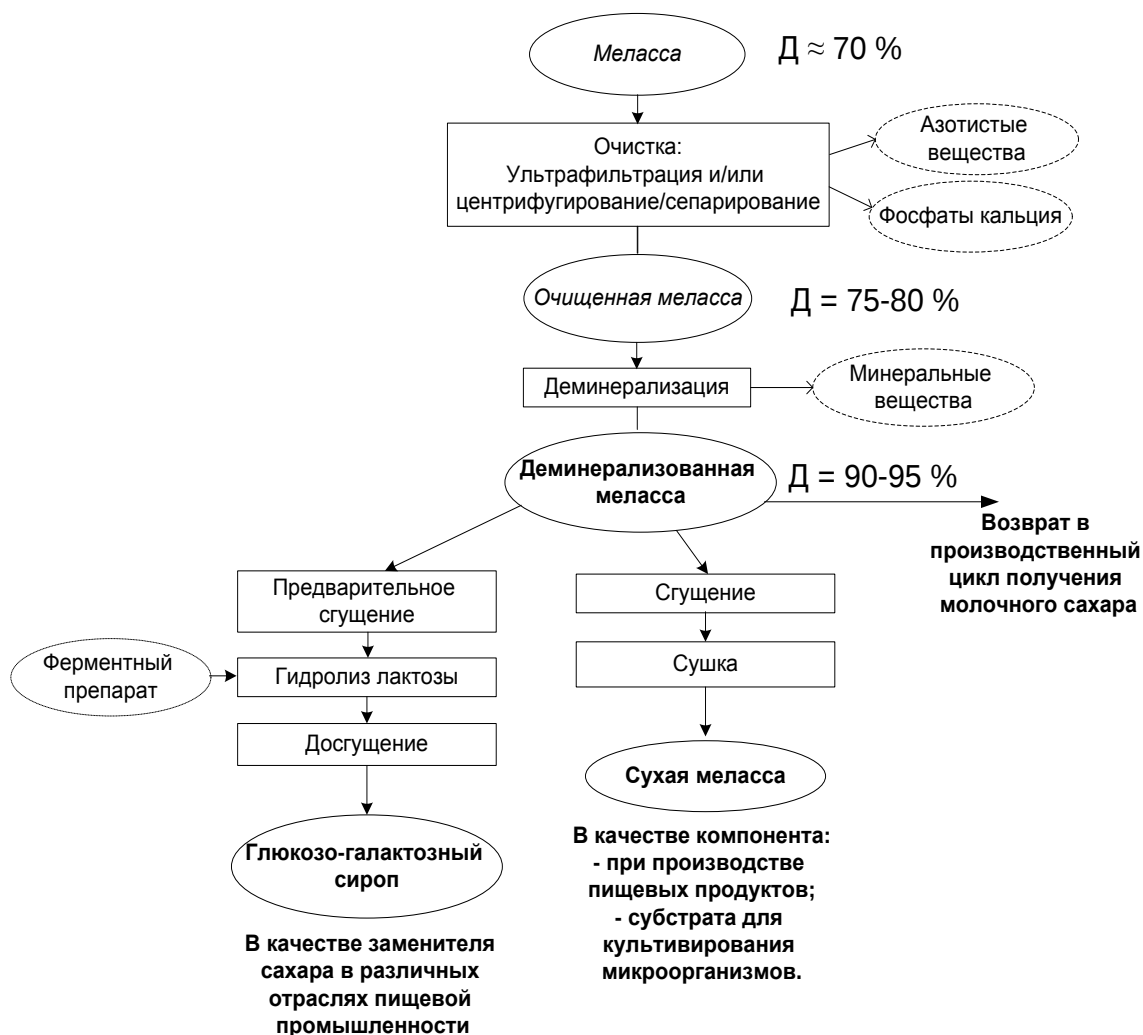


Рисунок 5 – Блок-схема направлений переработки и использования мелассы

Источник: собственная разработка.

Таким образом, совместное применение баро- и электромембранных методов обработки мелассы молочной позволяет повысить ее доброкачественность в среднем на 20%, что расширяет возможности ее дальнейшего использования.

В зависимости от технологической оснащенности конкретное предприятие самостоятельно определяет наиболее выгодное направление дальнейшей переработки или применения деминерализованной мелассы.

Цена за пищевой молочный сахар в среднем составляет 2 000 долл/т (данные на октябрь 2017 года). Отпускная цена мелассы, в которой массовая доля лактозы в сухом веществе в зависимости от технологии колеблется от 12 до 25%, составляет не более 1 руб./т. Не трудно рассчитать, что разумная переработка мелассы молочной, даже с учетом основных операционных расходов на ее очистку и деминерализацию, обоснована с точки зрения экономики и позволяет превратить, казалось бы, «кормовой» продукт в прибыльный.

Заключение. Анализ компонентного состава и физико-химических свойств образцов мелассы, полученных при производстве молочного сахара по различным технологиям, показал, что меласса является ценным лактозосодержащим сырьем, содержащим от 15 до 25% лактозы, но повышенное содержание минеральных солей и азотистых веществ (белковых составляющих) затрудняет ее дальнейшее использование без соответствующей обработки.

Совместное использование ультрафильтрации и электродиализа позволяет снизить содержание азотосодержащих соединений на 58% и 42% для образцов мелассы №1 и №2 соответственно и минеральных веществ свыше 90% для каждого из образцов.

Обработка мелассы в виде предварительной очистки от азотистых веществ, посредством ультрафильтрации, а также проведения деминерализации, дает возможность в дальнейшем использовать мелассу:

- в производстве молочного сахара (возврат в технологический цикл);
- в жидком и сухом виде, как компонент при производстве пищевых (мороженое, кондитерские изделия) и кормовых продуктов (ЗЦМ) и добавок;
- в качестве компонента субстрата для культивирования микроорганизмов.

В любом случае следует понимать, что переработка побочного продукта производства молочного сахара – мелассы – возможность получения дополнительной прибыли за счет повышения эффективности производства, а отгрузка продукции на кормовые цели – самое простое решение, но не всегда выгодное.

Список использованных источников

1. Храмов, А.Г. Молочный сахар. – М.: Агропромиздат, 1987. – 224 с.
2. Горбатова, К.К. Физико-химические и биохимические основы производства молочных продуктов. – СПб.: ГИОРД, 2004. – 352 с.
3. Синельников, Б.М. Лактоза и ее производные / Б.М. Синельников [и др.], науч. ред. акад. РАСХН А.Г. Храмов. – СПб.: Профессия, 2007. – 768 с.
4. Евдокимов, И.А. Обработка молочного сырья мембранными методами / И.А. Евдокимов [и др.] // Молочная промышленность. – 2012. – № 2. – с. 34–37.
5. Золоторева, М.С. Технология молочного сахара и его аналогов с применением мембранных и ионообменных процессов / М.С. Золоторева [и др.] // Молочная промышленность. – 2016. – № 11. – с.
1. Hramcov, A.G. Molochnyj sahar [Milk sugar]. – M.: Agropromizdat, 1987. – 224 s.
2. Gorbatova, K.K. Fiziko-himicheskie i biohimicheskie osnovy proizvodstva molochnyh produktov [Physicochemical and biochemical basis of production of dairy products]. – SPb.: GIORД, 2004. – 352 s.
3. Sinel'nikov, B.M. Laktoza i ee proizvodnye [Lactose and its derivatives] / B.M. Sinel'nikov [i dr.], nauch. red. akad. RASHN A.G. Hramcov. – SPb.: Professija, 2007. – 768 s.
4. Evdokimov, I.A. Obrabotka molochnogo syr'ja membrannymi metodami [Processing of milk raw materials by membrane methods] / I.A. Evdokimov [i dr.] // Molochnaja promyshlennost'. – 2012. – № 2. – с. 34–37.
5. Zolotoreva, M.S. Tehnologija molochnogo sahara i ego analogov s primeneniem membrannyh i ionoobmennyyh processov [Technology of milk sugar and its analogues with the use of membrane and ion-

19–20.

6. Дымар, О.В. Опыт переработки молочной мелассы / Переработка молока. – 2012. – № 11. – с.12–14.

7. Фетисов, Е.А. Мембранные и молекулярно-ситовые методы переработки молока / Е.А. Фетисов, А.П. Чагаровский. – М.: Агропромиздат, 1991. – 272 с.

8. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. изд. вт. перераб. М.: Наука. – 1976. – 279 с.

9. Пустыльник, Е.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений/ Е.И. Пустыльник. – М.: Наука, 1968. – 288 с.

10. Применение средств ЭВМ при обработке активного эксперимента / сост. А.Н. Гайдадин, С.А. Ефремова; ВолгГТУ. – Волгоград, 2008. – 16 с.

11. Тамим, А.И. Мембранные технологии в производстве напитков и молочных продуктов / А.И. Тамим. – СПб.: Профессия, 2016. – 420 с.

exchange processes] / M.S. Zolotoreva [i dr.] // Molochnaja promyshlennost'. – 2016. – № 11. – с. 19–20.

6. Dymar, O.V. Opyt pererabotki molochnoj melassy [Milk processing experience] / Pererabotka moloka. – 2012. – № 11. – с.12–14.

7. Fetisov, E.A. Membrannye i molekulyarno-sitovye metody pererabotki moloka [Membrane and molecular sieve methods for processing milk] / E.A. Fetisov, A.P. CHagarovskij. – М.: Agropromizdat, 1991. – 272 s.

8. Adler, Ju.P. Planirovanie jeksperimenta pri poiske optimal'nyh uslovij [Planning an experiment when searching for optimal conditions] / Ju.P. Adler, E.V. Markova, Ju.V. Granovskij. izd. vt. pererab. М.: Nauka. – 1976. – 279 s.

9. Pustyl'nik, E.I. Statisticheskie metody analiza i obrabotki nablyudenij [Statistical methods of analysis and processing of observations] / E.I. Pustyl'nik. – М.: Nauka, 1968. – 288 s.

10. Primenenie sredstv EHVM pri obrabotke aktivnogo ehksperimenta [The use of computer facilities in the processing of an active experiment] / sost. A.N. Gajdadin, S.A. Efremova; VolgGTU. – Volgograd, 2008. – 16 s.

11. Tamim, A.I. Membrannye tekhnologii v proizvodstve napitkov i molochnyh produktov [Membrane technology in the production of beverages and dairy products] / A.I. Tamim. – SPb.: Professiya, 2016. – 420 s.