

УДК 664.126
https://doi.org/10.47612/2073-4794-2021-14-2(52)-84-90

Поступила в редакцию 07.04.2021
Received 07.04.2021

О. В. Дымар¹, М. Р. Яковлева², О. К. Никулина², О. В. Колоскова²

¹ Представительство АО «МЕГА» в Республике Беларусь, г. Минск, Республика Беларусь

² РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию», г. Минск, Республика Беларусь

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ КОРРЕКЦИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА СВЕКЛОВИЧНОЙ МЕЛАССЫ

Аннотация: Применение свекловичной мелассы в качестве ресурса для дополнительного извлечения сахара является актуальным, так как позволяет снизить потери сахарозы в производстве и повысить экономическую эффективность использования производственного потенциала сахарного сектора Республики Беларусь. Для дешугаризации (извлечения сахаров) мелассы необходимо предварительно снизить в ней содержание золы. В статье отражены результаты исследований возможности снижения минерализации раствора свекловичной мелассы с использованием электродиализа при различном подаваемом на электроды напряжении от 10 до 30 В. В исходном сырье и конечном продукте определяли электропроводимость, оптическую плотность и содержание сухих веществ, на основании чего делался вывод о целесообразности использования электродиализа.

Ключевые слова: электродиализ, деминерализация, свекловичная меласса, сахароза, электропроводимость, зола.

O. V. Dymar¹, M. R. Yakovleva², O. K. Nikulina², O. V. Koloskova²

¹ Representative of MEGA a.s. in Republic of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

² RUE “Scientific-Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus”, Minsk, Republic of Belarus

ELECTROCHEMICAL CORRECTION OF THE MINERAL COMPOSITION OF BEET MOLASSES

Abstract: Application of sugar beet molasses as a secondary resource for the extraction of sugar is a topical issue, which will reduce the loss of sucrose during the processing of sugar beets and increase the economic efficiency of the sugar industry of the Republic of Belarus. Initially it is necessary to reduce the ash content for further desugarisation molasses. This study investigated removal of the ash content of the beet molasses solution with electromembrane equipment applying. The article reflects the results of studies on the possibility of reducing the salinity of a solution of beet molasses using electrodialysis at various voltages applied to the electrodes from 10 to 30 V. In the initial raw material and the final product, the electrical conductivity, optical density and dry matter content were determined, on the basis of which a conclusion was made about the expediency of using electrodialysis.

Keywords: electrodialysis, demineralization, beet molasses, sucrose, electrical conductivity, ash content.

Введение. Объем производимого в Республике Беларусь сахара превышает потребность внутреннего рынка практически в два раза, что объясняет экспортноориентированность производства и конкуренцию на внутреннем рынке. Повысить экономическую эффективность работы предприятия можно несколькими способами: повышением качества готового продукта, разработкой новых видов продукции, снижением технологических потерь и затрат на производство и т. д. [1].

При среднем выходе сахара 13–15 % к массе свеклы свеклосахарное производство дает значительное количество побочных продуктов: 80–83 % сырого свекловичного жома, используемого в кормлении сельскохозяйственных животных, 10–12 % фильтрационного осадка, применяемого для расщелачивания кислых почв и 5,0–5,5 % мелассы к массе перерабатываемой свеклы [2]. Свекловичную мелассу используют в основном для кормления сельскохозяйственных животных с целью повышения питательной ценности и вкусовых качеств грубых и концентрированных кормов. Также существуют и применяются технологии по использованию свекловичной мелассы в качестве субстрата для получения лимонной кислоты, этилового спирта, хлебопекарных дрожжей, лизина, целлюлозы, β-амилазы и других полезных компонентов [3].

Свекловичная меласса также может выступать в качестве вторичного ресурса для получения сахара, так как содержание невыделенной сахарозы в ней может достигать 60 % к сухим веществам. Поэтому в настоящее время вопрос разработки экономически целесообразного и экологичного способа дешугаризации свекловичной мелассы является актуальным. Извлечение сахара из мелассы позволяет снизить потери сахарозы в производстве, увеличить длительность сезона работы завода, а также дает возможность выделения из обедненной мелассы ценных веществ (бетаин, глутаминовая кислота и др.). Основной причиной невозможности кристаллизации сахарозы из мелассы по традиционной схеме является наличие большого количества несахаров, в частности, золы (минеральных веществ), содержание которой может достигать 7–10 % от сухих веществ мелассы. Зольные вещества являются сильными мелассообразователями и, накапливаясь в мелассе, увеличивают растворимость сахарозы и уменьшают вязкость мелассы, способствуя увеличению содержания сахара в ней и, следовательно, снижению выхода готовой продукции и увеличению технологических потерь в производстве. Основными мелассообразователями являются легко диссоциирующие соединения: КОН, NaOH, K_2CO_3 , CH_3COOK , KCl, NaCl [4–13].

В настоящее время в пищевой промышленности широко применяется технология электродиализа для снижения зольности продуктов без добавления дополнительных химических реагентов [14]. Она позволяет удалять заряженные частицы из растворов при помощи полупроницаемых ионообменных мембран под действием электрического поля, создаваемого прикладываемым напряжением. Кроме отсутствия необходимости использовать химические реагенты, электродиализ имеет ряд других положительных эффектов, таких как высокая энергетическая экономичность, так как используемая энергия расходуется только на разрыв межмолекулярных связей компонентов смеси, а также отсутствие влияния на продукт в процессе обработки [15, 16].

Целью исследования является изучение возможности применения электродиализа для снижения зольности свекловичной мелассы.

Материалы и методы исследований. Процесс деминерализации исследовали на лабораторной электромембранной установке Р EDR-Z с использованием мембран катионного (СМН-PES) и анионного (АМН-PES) типов.

Меласса представляет собой густую вязкую жидкость с содержанием сухих веществ более 75,0 %. Высокое содержание сухих веществ увеличивает нагрузку на насосы, ускоряет загрязнение мембран и снижает скорость и турбулентность потока, и, соответственно, эффективность проведения деминерализации [17, 18]. В работе в качестве дилуата (исходный раствор, из которого удаляют электролиты) служила свекловичная меласса, разбавленная для снижения вязкости до содержания сухих веществ 45 ± 1 %, в качестве концентрата (раствор, в который под действием электрического напряжения переходят ионы) использовали бидистиллированную воду. Объем каждого из исходных растворов составлял 1,0 л. В качестве электродного раствора, предотвращающего окисление электродов, использовался 2%-ый раствор Na_2SO_4 . Исходя из эксплуатационных характеристик мембран и температуры мелассы в технологическом процессе, рабочей температурой при деминерализации в экспериментах выбрана температура 30 ± 3 °С.

Для обеспечения турбулентности потока и необходимой скорости деминерализации использовали прокладки (спейсеры) с лабиринто-сетчатой структурой толщиной 0,8 мм. Применение лабиринто-сетчатых спейсеров в электродиализном аппарате позволяет повысить турбулизацию потока, снизить риск отложения на поверхности мембран загрязнений и увеличить срок их службы. Поток дилуата, концентрата и электродного раствора устанавливали на уровне 40 л/ч. Исходя из физико-химических свойств раствора мелассы, данная подача позволяет обеспечить необходимое время нахождения дилуата в камерах, а также создает подходящие гидродинамические условия для снижения образования отложения на мембранах, так как при увеличении потока значительно возрастают затраты на перекачивание за счет гидравлических потерь. При понижении скорости движения потока большая часть ионов в единице обработанного раствора перейдет в концентрат за один цикл обработки, что приведет к снижению разности концентраций ионов с разных сторон мембран и, в свою очередь, также снизит общую эффективность процесса. Кроме того, снижение скорости потока также приведет к увеличению отложений на мембранах и усложнит мойку [17–20].

В ходе эксперимента исследовали изменение эффективности процесса при различном рабочем напряжении. Для этого было проведено 5 опытов, при которых на электроды установки во время процесса подавалось напряжение 10 В, 15 В, 20 В, 25 В и 30 В. В течение эксперимента фиксировали фактическое напряжение на мембранах, показатель силы тока, показатель электропроводимости дилуата. Величина электропроводимости отражает степень деминерализации раствора в контрольной точке.

Скорость обработки также является важным фактором при ведении технологического процесса. Длительность процесса электродиализа в опытах составила 200 минут.

По показателям изменения электропроводимости рассчитывали степень деминерализации (Д, %) по формуле:

$$D = \frac{P_{D1} - P_{D2}}{P_{D1}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где P_{D1} — начальная проводимость дилуата, мСм/см; P_{D2} — конечная проводимость дилуата, мСм/см.

В исходном сырье и конечных продуктах электродиализа определяли следующие показатели: содержание сухих веществ, оптическую плотность, электропроводимость, а также органолептические показатели раствора мелассы. При проведении эксперимента фиксировали следующие параметры процесса: температуру дилуата во время протекания деминерализации, фактическое и подаваемое напряжение на мембранах, силу тока, проводимость дилуата.

Результаты исследований и их обсуждение. Рассчитанная по формуле 1 степень деминерализации и исследуемые показатели сырья и продуктов электродиализа отражены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1. Показатели сырья и продуктов электродиализа
Table 1. Indicators of raw materials and products of electrodiagnosis

№ опыта	Исследуемый объект	Исследуемый показатель			Д, %
		Содержание сухих веществ, %	Проводимость, мСм/см	Оптическая плотность, ед.	
Опыт №1 (10 В)	Сырье	45,10	51,1	0,84	24,46
	Дилуат	40,81	38,6	0,90	
	Δ	-4,29	-12,5	+0,06	
Опыт №2 (15 В)	Сырье	45,00	50,1	0,83	54,49
	Дилуат	40,19	22,80	0,95	
	Δ	-4,81	-27,30	+0,12	
Опыт №3 (20 В)	Сырье	45,40	62,7	0,84	60,29
	Дилуат	41,13	24,90	0,96	
	Δ	-4,27	-37,8	+0,12	
Опыт №4 (25 В)	Сырье	45,70	70,7	0,86	58,27
	Дилуат	40,63	29,5	1,01	
	Δ	-5,07	-41,2	+0,15	
Опыт №5 (30 В)	Сырье	45,40	66,4	0,84	70,63
	Дилуат	41,82	19,5	1,17	
	Δ	-3,58	-46,9	+0,33	

Δ — разность между показателями сырья и дилуата

Как видно из табл. 1, при подаче напряжения 10 В наблюдается наименьшее снижение электропроводимости — 12,5 мСм/см, а наибольшее при 30 В — 70,6 мСм/см. С увеличением прилагаемого напряжения наблюдалось увеличение оптической плотности в дилуате, что, вероятно, связано с концентрированием дилуата в результате диссоциации воды и переноса ионов. Зависимости между переходом сухих веществ и прилагаемым напряжением в ходе данного эксперимента не наблюдалось.

По результатам опытов можно сделать вывод об эффективности ведения электродиализа при прилагаемом напряжении выше 15 В: степень деминерализации составила 60,3–70,6 %. При одинаковой длительности процесса степень деминерализации в опытах №1 и №5 отличалась на 46,17 %, что можно объяснить более высоким подаваемым напряжением.

На рис. 1 представлены графики, характеризующие изменение электропроводимости мелассы в течение процесса деминерализации в зависимости от напряжения.

Результаты исследования показали, что при повышении подаваемого напряжения снижается конечная проводимость дилуата, и, соответственно, увеличивается степень деминерализации исходного раствора. Однако при повышении подаваемого напряжения увеличивается скорость переноса ионов и, соответственно, в большем количестве в единицу времени образуются труднорастворимые гидроксиды щелочноземельных металлов кальция и магния, осаждение которых на поверхности мембраны увеличивается, уменьшая ее рабочую поверхность, усложняя процесс мойки оборудования и снижая срок эксплуатации мембран и эффективность процесса [17].

Кроме того, следует отметить изменение органолептических показателей растворов после обработки, что является одним из основных критериев при производстве пищевых продуктов. После проведения процесса электродиализа во всех опытах запах мелассы значительно улучшался, при этом концентрат окрашивался в медно-оранжевый цвет и приобретал неприятный запах, что можно объяснить переходом ароматических и красящих веществ из мелассы.

Также наблюдалось изменение конечного объема продукта, что можно объяснить процессом диссоциации и переноса воды. Наиболее явно этот эффект был выражен в опыте №5 при высоком прилагаемом напряжении в процессе деминерализации. На рис. 2 представлен внешний вид деминерализованного раствора мелассы (дилуата) и концентрата при прилагаемом напряжении 30 В.

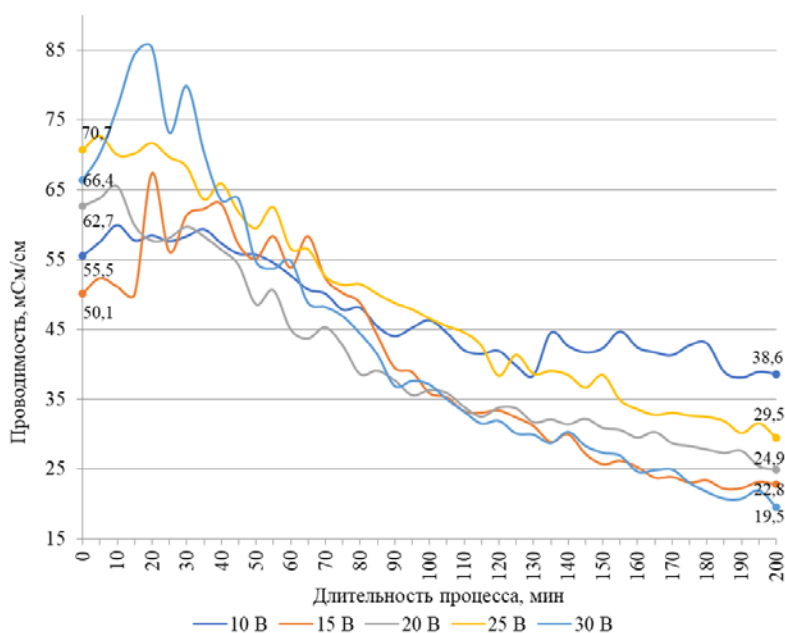


Рис. 1. График зависимости изменения проводимости в процессе электродиализа при различном подаваемом напряжении

Fig. 1. A graph of the dependence of the change in conductivity during electrodiagnosis at various applied voltage



Рис. 2. Внешний вид концентрата и дилуата (слева направо)

Fig. 2. Appearance of concentrate and diluate (from left to right)

Установлено, что в процессе электродиализа происходит загрязнение мембран, особенно при деминерализации вязких продуктов с высоким содержанием сухих веществ. На рис. 3а и 3б представлен внешний вид мембран после обработки мелассы.

Загрязнение мембран является причиной снижения эффективности работы оборудования и требует подбора оптимального режима мойки. Для очистки электродиализного оборудования чаще всего применяют СИП-мойку (CIP — Cleaning In Place), которая предназначена для промыва и дезинфекции неразборных, труднодоступных мест, таких как трубы и закрытые емкости, промывка которых вручную невозможна в силу их конструктивных особенностей.

Промывка происходит с помощью прокачки через все оборудование специальных моющих растворов, затем дезинфекционного раствора, чистой воды (или обработки паром), после чего отработанные жидкости сливаются в канализацию [21].

В ходе эксперимента проводилось исследование эффективности мойки мембран по типу проведения СИП-мойки. Установлено, что для эффективной очистки мембран необходимо применять многоступенчатую мойку, включающую следующие стадии:

1. Промывание дистиллированной водой для удаления механических загрязнений в течение 30 минут — 2 повторности.

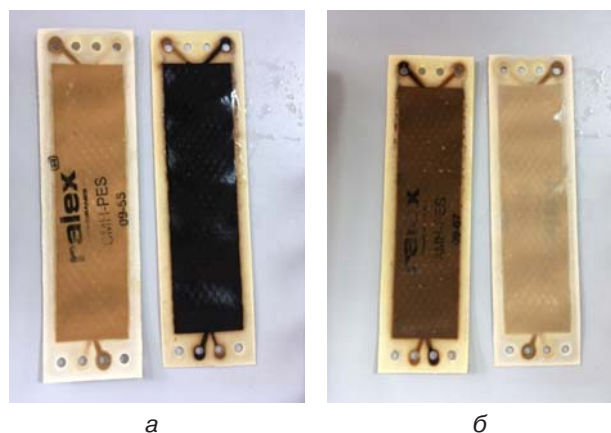


Рис. 3. Внешний вид мембран после обработки мелассы:
 а — камера обессоливания, б — камера концентрирования
 Fig. 3. Appearance of membranes after molasses processing:
 a — desalination chamber № 1, b — concentration chamber № 2.

2. Промывание 2%-ным раствором HNO_3 .
3. Промывание дистиллированной или бидистиллированной водой.
4. Промывание 2%-ным раствором щелочи для нейтрализации остатков кислоты.
5. Промывание дистиллированной водой до достижения $\text{pH } 7 \pm 0,2$ ед.

Также для борьбы с отложениями солей на мембране можно использовать реверсивный электродиализ, заключающийся в переполюсовке электродов с одновременным изменением потоков дилуата и концентрата. При таком переключении происходит изменение функций камер: камеры концентрирования становятся камерами обессоливания и наоборот, а образовавшийся осадок растворяется.

Режимы СИП-мойки являются очень важными и их необходимо подбирать в соответствии с условиями ведения процесса. Дальнейшее изучение данного вопроса позволит подобрать режим мойки, подходящий при обработке свекловичной мелассы.

Заключение. В ходе исследований установлено, что повышение напряжения позволяет увеличить производительность электродиализного процесса обессоливания мелассы: повышение рабочего напряжения с 10 В до 30 В при длительности процесса 200 минут позволяет увеличить степень деминерализации мелассы с 24,5% до 70,6%. Это открывает возможности изменения производительности технологического оборудования по сырью и/или количеству удаленных ионов не за счет увеличения продолжительности обработки сырья, а за счет изменения рабочего напряжения, в том числе и динамически, в ходе производственного процесса.

Установлено, что применение многоступенчатой СИП-мойки позволяет восстановить рабочие параметры ионообменных мембран и обеспечить их длительную эксплуатацию. Вместе с тем режимы СИП-мойки требуют дополнительного изучения.

Список использованных источников

1. Чибисова, Н. В. Экологическая химия: учеб. пособие / Калинингр. ун-т; сост.: Н.В. Чибисова, Е.К. Долгань. — Калининград: Калинингр. ун-т, 1998. — 113 с.
2. Раубо, В. М. Свеклосахарное производство и пути рационального использования фильтрационного карбонатсодержащего осадка / В. М. Раубо, Л. Д. Белехова, Г. А. Рускевич // Перспективные технологии и технические средства в сельскохозяйственном производстве: материалы Международ. научно-практич. конф., Минск, 11-12 апреля 2013 г.: в 2 ч. / БГАТУ; редкол.: А. В. Новиков [и др.]. — Минск, 2013. — Ч.1. — С. 269–272.
3. Семенихин, С. О. Обзор современных исследований в области переработки мелассы для получения биологически активных веществ / С. О. Семенихин, М. В. Бабакина, О. В. Федосеева, В. О. Городецкий // Новые технологии. — 2019. — № 2(48). — С 97–107.
4. Содержание сахара в мелассе. Оптимизация режима кристаллизации сахарозы на последнем продукте / З.В. Ловкис [и др.]; под общ. ред. З.В. Ловкиса. — Минск: Беларуская навука, 2014. — 97 с.
5. Никулина, О. К. Влияние качества сырья на процесс кристаллизации сахарозы / О. К. Никулина, В. В. Кулаковский // Пищевая промышленность: наука и технологии. — 2017. — № 1(35). — С. 47–53.
6. Причины технологических отклонений в сахарном производстве, методы их устранения / З. В. Ловкис [и др.]; под ред. З. В. Ловкиса. — Минск: ИВЦ Минфина, 2016. — 168 с.

7. Бугаенко, И. Ф. Принципы эффективного сахарного производства / И. Ф. Бугаенко — М.: ООО «Инмашпроект», 2003. — 285 с.
8. Бугаенко, И. Ф. Основы сахарного производства / И. Ф. Бугаенко — М.: Международная Сахарная Компания, 2002. — 357 с.
9. Сапронов, А. Р. Технология сахара песка и сахара рафинада / А. Р. Сапронов, Л. А. Сапронова. — М.: Колос, 1996. — 367 с.
10. Бугаенко, И. Ф. Повышение эффективности очистки диффузионного сока / И. Ф. Бугаенко. — М.: АгроНИИТЭИПП, 1993. — Вып. 5–6. — 47 с.
11. Бугаенко, И. Ф. Общая технология отрасли: Научные основы технологии сахара: учебник для студентов вузов: в 2 ч. / И. Ф. Бугаенко, В. И. Тужилкин. — СПб.: ГИОРД, 2007. — Ч.1. — 512 с.
12. Бобровник, Л. Д. Роль гидратации в мелассообразовании / Л. Д. Бобровник // Сахар. — 2015. — №6. — С. 54–58.
13. Потери сахарозы в свеклосахарном производстве и пути их снижения / Н. Г. Кульнева [и др.] // Сахар. — 2011. — №2. — С. 42–46.
14. Дымар, О. В. Изучение взаимосвязи скорости деминерализации кислой сыворотки от изменения напряжения процесса / О. В. Дымар, М. Р. Яковлева, А. Меркель // Пищевая промышленность: наука и технологии. — 2019. — №1 (43). — С. 74–79.
15. Дымар, О. В. Повышение эффективности переработки молочных ресурсов: научно-технологические аспекты / О. В. Дымар. — Минск: Колорград, 2018. — 236 с.
16. Дымар, О. В. Альтернативные варианты переработки сыворотки. / О. В. Дымар // Молочная промышленность — 2006. — №6 — С. 16–17.
17. Ильина, С. И. Электромембранные процессы: учебное пособие / С. И. Ильина — М.: РХТУ им. Менделеева, 2013. — 57 с.
18. Дорофеева, Л. И. Разделение и очистка веществ мембранными, обменными и электрохимическими методами / Л. И. Дорофеева. — Томск: Томский политех. ун-т, 2008. — 111 с.
19. Лазарев, С. И. Методы электробаромембранного разделения растворов: учебное пособие / С. И. Лазарев. — Тамбов: Тамбовский гос. техн. ун-т, 2007. — 84 с.
20. Никулина, О. К. Коррекция минерального состава полупродуктов сахарного производства с использованием электродиализа / О. К. Никулина, М. Р. Яковлева, О. В. Колоскова, О. В. Дымар // Пищевая промышленность: наука и технологии. — 2020. — №2 (48). — С. 27–35.
21. Схема и принцип работы СИП-мойки [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <https://www.prst.ru/baumer/sip-мойка>. - Дата доступа : 11.02.2021.

References

1. Chibisova N.V., Dolgan E.K. *Ekologicheskaya khimiya: uchebnoe posobiye [Environmental chemistry: textbook manual]*. Kaliningrad, 1998 . 113 p.
2. Raubo V.M., Belekova L.D., Ruskevich G.A. *Sveklosakharnoye proizvodstvo i puti ratsional'nogo ispol'zovaniya fil'tratsionnogo karbonatsoderzhashchnogo osadka [Beet sugar production and ways of rational use of filtration carbonate-containing sediment]*. Perspektivnyye tekhnologii i tekhnicheskiye sredstva v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve: materialy Mezhdunar. nauchno-praktich. konf. = Advanced technologies and technical means in agricultural production: materials of the Intern. scientific and practical conf. Minsk, 2013. pp. 269-272.
3. Semenikhin S.O., Babakina M.V., Fedoseeva O. V., Gorodetsky V.O. *Obzor sovremennykh issledovaniy v oblasti pererabotki melassy dlya polucheniya biologicheskii aktivnykh veshchestv [Review of modern research in the field of molasses processing to obtain biologically active substances]*. Novyye tekhnologii = New technologies. Minsk, 2019. №2(48). pp. 97-107.
4. Lovkis Z.V. *Soderzhaniye sakhara v patoke. Optimizatsiya rezhima kristallizatsii sakharozy na poslednem produkte [Sugar content in molasses. Optimization of sucrose crystallization mode on the last product]*. Minsk, Belaruskaya navuka, 2014, 97 p.
5. Nikulina O.K., Kulakovskiy V.V. *Vliyaniye kachestva syr'ya na protsess kristallizatsii sakharozy [Influence of the quality of raw materials on the process of sucrose crystallization]*. Pischevaya promyshlennost: nauka i tekhnologii = Food industry: science and technology, 2017, №1(35), pp. 47-53.
6. Lovkis Z.V. *Prichiny tekhnologicheskikh otkloneniy v proizvodstve sakhara, metody ikh ustraneniya [Causes of technological deviations in sugar production, methods for their elimination]*. Minsk, Information Center of the Ministry of Finance, 2016, 168 p.
7. Bugaenko I.F. *Printsipy effektivnogo proizvodstva sakhara [The principles of effective sugar production]*. Moscow, Inmashproekt LLC, 2003, 285 p.
8. Bugaenko I.F. *Osnovy sakharnogo proizvodstva [Fundamentals of sugar production]*. Moscow, International Sugar Company, 2002, 357 p.

9. Saprnov A.R. Tekhnologiya sakhara i rafinirovannogo sakhara [*Technology of sugar and refined sugar*] Moscow, Kolos, 1996, 367 p.
10. Bugaenko I.F. Povysheniye effektivnosti ochistki diffuzionnogo soka [*Improving the efficiency of cleaning diffusion juice*]. Moscow, AgroNIITEIPP, 1993, 47 p.
11. Bugaenko I.F. Obshchepromyshlennyye tekhnologii: Nauchnyye osnovy sakharnoy tekhnologii: Uchebnik dlya studentov vuzov [*General industry technology: Scientific foundations of sugar technology: Textbook for university students*]. St. Petersburg, GIORD, 2007, 512 p.
12. Bobrovnik L.D. Rol' gidratatsii u patoki [*The role of hydration in molasses*]. Sakhar = Sugar, 2015, № 6, pp. 54–58.
13. Kulneva N.G. Poterya sakharozy pri proizvodstve sakharnoy svekly i puti ikh snizheniya [*Loss of sucrose in sugar beet production and ways to reduce them*]. Sakhar = Sugar, 2011, № 2, pp. 42–46.
14. Dymar O.V., Yakovleva M.R., Merkel A. Izucheniye vzaimosvyazi skorosti demineralizatsii kisloy syvorotki s izmeneniyami tekhnologicheskogo napryazheniya [*The study of the relationship of the rate of demineralization of acidic serum from changes in the process voltage*]. Pischevaya promyshlennost: nauka i tehnologii = Food industry: science and technology, 2019, № 1(43), pp. 74–79.
15. Dymar O.V. Povysheniye effektivnosti pererabotki molochnykh resursov: nauchnyye i tekhnologicheskiye aspekty [*Improving the efficiency of processing dairy resources: scientific and technological aspects*]. Minsk, Kolorgrad, 2018, 236 p.
16. Dymar O.V. Al'ternativnyye varianty obrabotki syvorotki [*Alternative whey processing options*]. Molochnaya promyshlennost = Dairy industry, 2006, № 6, pp. 16–17.
17. Piyina S.I. Elektromembrannyye protsessy: uchebnoye posobiye [*Electro-membrane processes: a training manual*]. Moscow, RCTU them. Mendeleev, 2013, 57 p.
18. Dorofeeva L.I. Razdeleniye i ochistka veshchestv membrannym, obmennym i elektrokhimicheskimi metodami [*Separation and purification of substances by membrane, exchange and electrochemical methods*]. Tomsk, Publishing House of Tomsk Polytechnic University, 2008, 111 p.
19. Lazarev S.I. Metody elektrobaromembrannogo razdeleniya rastvorov : uchebnoye posobiye [*Methods of electrobaromembrane separation of solutions: a tutorial*]. Tambov, 2007. 84 p.
20. Nikulina O.K., Yakovleva M.R., O.V. Koloskova., Dymar O.V. Korrektsiya mineral'nogo sostava poluproduktov sakharnogo proizvodstva s ispol'zovaniyem elektrodializa [*Correction of the mineral composition of sugar intermediate products using electrodialysis*]. Pischevaya promyshlennost: nauka i tehnologii = Food industry: science and technology, 2020. №2 (48). pp. 27–35.
21. Skhema i printsip raboty SIP-moyki [Elektronnyy resurs] [*Scheme and principle of operation of CIP-washing [Electronic resource]*]. Access mode: <https://www.prst.ru/baumer/sip-moyka>. Date of access: 11.02.2021.

Информация об авторах

Дымар Олег Викторович — доктор технических наук, профессор, технический директор представительства АО «МЕГА» (Чешская Республика) в Республике Беларусь г. Минск, Республика Беларусь. E-mail: dymarov@tut.by

Яковлева Мария Романовна — инженер-технолог 2 категории РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: sugar@belpoduct.com

Никулина Оксана Константиновна — кандидат технических наук, заведующая НИЛ сахарного производства РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: sugar@belpoduct.com

Колоскова Ольга Владимировна — кандидат технических наук, старший научный сотрудник РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: sugar@belpoduct.com

Information about authors

Dymar Oleg Viktorovich — eng., Ph.D, D.E.Sc., Professor, Technical director in the representative office «MEGA a.s.» (Czech Republic) in the Republic of Belarus. Minsk, Republic of Belarus. E-mail: dymarov@tut.by

Yakovleva Maryia Romanovna — process engineer of the 2nd category of RUE “Scientific-Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus”, (29 Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: sugar@belpoduct.com

Nikulina Oksana Konstantinovna — Ph.D. in Technics, the head of the research laboratory of sugar production of RUE “Scientific-Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus”, (29 Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus). Email: sugar@belpoduct.com

Koloskova Olga Vladimirovna — Ph.D. in Technics, senior researcher of RUE “Scientific-Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus”, (29 Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus). Email: sugar@belpoduct.com