

О.К. Никулина, М.Р. Яковлева, О.В. Колоскова, О.В. Дымар

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

КОРРЕКЦИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА ПОЛУПРОДУКТОВ САХАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОДИАЛИЗА

Аннотация. Содержание минеральных веществ — один из важнейших показателей качества продукции, их количество в полупродуктах сахарного производства позволяет оценить правильность ведения процессов очистки диффузионного сока. Зольные вещества являются сильными мелассообразователями и, накапливаясь в мелассе, способствуют увеличению содержания сахара в ней и, следовательно, снижению выхода готовой продукции. Наиболее перспективным и малоисследованным методом обработки продуктов переработки сахарной свеклы с целью регулирования их минерального состава и снижения отрицательного влияния золы на технологический процесс получения сахара является электродиализ, позволяющий очищать сахарные растворы от электролитов. Целью работы является поиск новых путей обработки полупродуктов сахарного производства для повышения эффективности переработки сахарной свеклы. Приведены результаты исследования минерального состава полупродуктов сахарного производства и влияния электродиализа на его изменение. Представлены результаты экспериментов, подтверждающие положительный эффект применения электромембранной обработки в технологии переработки сахарной свеклы.

Ключевые слова: очистка диффузионного сока, содержание золы, мелассообразователи, полупродукты сахарного производства, деминерализация, электродиализ, мембранные технологии

O.K. Nikulina, M.R. Yakovleva, O.V. Koloskova, O.V. Dymar

*RUE “Scientific and Practical Centre for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus”, Minsk,
Republic of Belarus*

CORRECTION OF THE MINERAL COMPOSITION OF SEMI-PRODUCTS OF SUGAR PRODUCTION APPLYING ELECTRODIALYSIS

Abstract. The mineral content is one of the most important indicators of product quality. It's quantity in semi-products of sugar production allows to assess the accuracy of purification of the diffusion juice. Increase in ash substances content (ash content) leads to magnification of sugar loss to molasses and reduce the yield of products. The main objective of the study is to explore effective technology which allows adjust the mineral composition of semi-products of sugar production and reduce the negative impact of ash on the sugar production process. Electrodialysis is one of the most budding and scantily explored method that allows to clean sugar solutions from electrolytes. The aim of the work is to find new path of processing semi-products of sugar production to increase the efficiency of sugar beet processing. The article presents the results of a study of the mineral composition of sugar production semi-products and the effect of electrodialysis treatment, as well as the results of experiments confirming the positive properties of electromembrane processing in sugar beet production technology.

Keywords: purification of diffusion juice, ash content, molasses, sugar products, demineralization, electrodialysis, membrane technologies

Содержание золы — один из важнейших показателей качества продукции. Содержание золы в белом сахаре регламентируется ГОСТ 33222-2015, а содержание золы в полупродуктах сахарного производства позволяет оценить правильность ведения процессов очистки диффузионного сока [1–3].

Зольные вещества являются сильными мелассообразователями и, накапливаясь в мелассе, способствуют увеличению содержания сахара в ней и, следовательно, снижению выхода готовой про-

дукции [4–14]. Сильные мелассообразователи увеличивают растворимость сахарозы и уменьшают вязкость мелассы, способствуя увеличению технологических потерь сахара в производстве. Сильными мелассообразователями являются легко диссоциирующие соединения, такие как КОН, NaOH, K_2CO_3 , CH_3COOK , KCl, NaCl [15].

С щелочными металлами калия и натрия сахароза образует комплексные соединения, из которых она труднее кристаллизуется, что и приводит к образованию мелассы. Считается, что одна часть катионов калия и натрия удерживает в мелассе 5 частей сахарозы [15].

Одним из мероприятий, позволяющих снизить чистоту мелассы и как следствие потери сахара, является замена сильных мелассообразователей, таких как катионы калия и натрия, на менее сильные, например катионы кальция и магния. Такой способ дает возможность снизить чистоту мелассы на 4–5 % и, соответственно, уменьшить потери в ней сахара на 0,4–0,5 % к массе свеклы [15]. Потери сахара при снижении чистоты мелассы на 1 % уменьшаются примерно на 0,1 %, а с повышением чистоты диффузионного сока на 1 % — примерно на 0,15 % к массе свеклы [16, 17].

Применяемые в настоящее время за рубежом комбинированные схемы, сочетающие известково-углекислотную очистку сока с дальнейшей его обработкой ионообменными смолами [18], позволяют значительно увеличить эффект очистки сока, но имеют определенные недостатки:

- ♦ высокий расход реагентов;
- ♦ необходимость частых регенераций ионитов, после которых образуется большое количество агрессивных сточных вод [19].

В последние десятилетия проводились исследования по выявлению возможности использования мембранной технологии для очистки ряда продуктов сахарного производства: диффузионного сока, очищенного сока, сиропа, растворов мелассы. Преимущество данной технологии состоит в том, что она проводится без добавления химических реагентов [11].

Наиболее перспективным для изучения в настоящее время является метод разделения поликомпонентных систем при помощи мембранных технологий, которые представлены баромембранными и электрообменными процессами: микрофильтрация, ультрафильтрация, нанофильтрация, обратный осмос, электродиализ [20]. Обработка растворов с помощью мембранных методов требует значительно меньшего расхода реагентов, чем ионообменная подготовка, однако требует тщательной подготовки исходного раствора [21, 22]. Вышеперечисленные технологии широко применяются в различных сферах пищевого производства: в молочной промышленности, водоподготовке, очистке сточных вод, виноделии, выделении ценных компонентов из сырья и вторсырья [23].

В сахарном производстве исследования применения мембранных технологий, совместно с другими методами (известково-углекислотная очистка, использование ионитов) дали определенный положительный результат, однако повсеместного распространения не получили [12].

Наиболее подходящим методом обработки продуктов переработки сахарной свеклы с целью их деминерализации является электродиализ, который позволяет очищать полупродукты от электролитов [24].

Электродиализ является процессом переноса ионов через полупроницаемую (ионселективную) мембрану под действием электрического поля, который может проходить по градиенту концентрации и против него [25]. Главным преимуществом такого метода деминерализации растворов является то, что он происходит без применения химических реагентов. Это позволяет снизить затраты на их приобретение и последующую очистку продукта от их остатков [26]. Эффективность переноса может изменяться подбором соответствующей силы тока [20].

Основными критериями, характеризующими качество полупроницаемых мембран, являются селективность и проницаемость. Возможность задерживать различные ионы пропорциональна величине селективности мембран, а электропроводность зависит от электрических характеристик противоионов и находится в обратно пропорциональной зависимости от толщины мембран [21].

Процесс электродиализа представляет собой движение катионов к катоду, а анионов к аноду под действием постоянного электрического тока в растворе [21]. На пути движения ионов устанавливаются ионообменные мембраны, катионная и анионная, пропускающие только один вид ионов, и через поры мембран перемещаются только соответствующие ионы электролитов, а сахароза, являясь электронейтральным веществом, остается в растворе, из которого происходит удаление солей и за счет этого достигается его очистка [11].

Электродиализ обеспечивает получение продукта высокого качества путем регулирования минерального состава и кислотности до требуемых значений за счет удаления ионогенных соединений. Он не только обеспечивает корректировку физико-химических показателей, но и значительно улучшает органолептические и технологические характеристики, что облегчает дальнейшие операции вакуумного сгущения, кристаллизации и сушки [22].

Целью исследования является поиск новых путей обработки полупродуктов сахарного производства для совершенствования применяемой технологии и повышения эффективности переработки сахарной свеклы.

Основные задачи исследования:

- 1) снижение количества моновалентных ионов калия и натрия, которые являются мелассообразователями и увеличивают потери сахарозы;
- 2) снижение солей кальция, которые затрудняют уваривание уфелей, ухудшают качество сахара;
- 3) повышение чистоты полупродуктов, что будет способствовать снижению расхода известняка, используемого для получения оксида кальция и диоксида углерода для очистки сока.

Для изучения изменения зольного комплекса в процессе переработки сахарной свеклы на сахар проводились исследования полупродуктов, отобранных на ОАО «Городейский сахарный комбинат». Пробы были испытаны на содержание общей золы, калия, натрия, кальция, магния.

Процесс деминерализации проводили на лабораторной электромембранной установке Р EDR-Z с использованием мембран CMH-PES катионного типа и AMH-PES — анионного (рис. 1) с отбором дилуата (исходного раствора, из которого выделяют ионы) в определенных точках и исследованием проб.

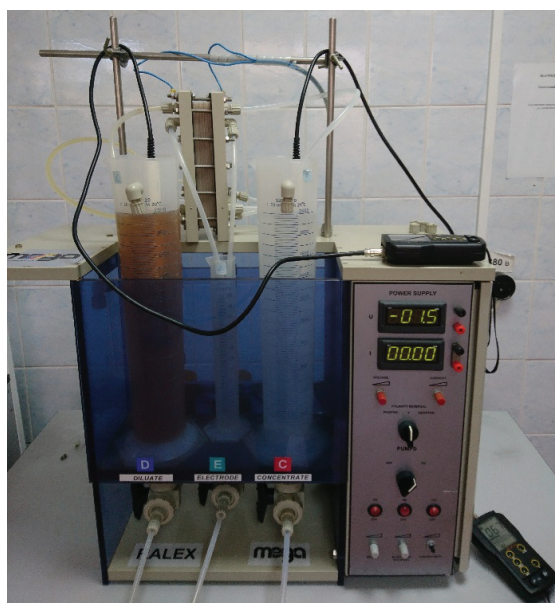


Рис. 1. Лабораторная электродиализная установка
Fig. 1. Laboratory electrodesalination unit

Рабочим органом в аппарате электродиализа являются ионселективные мембраны. Они подразделяются на катионообменные и анионообменные и под действием создаваемого электрического поля пропускают через себя катионы и анионы, соответственно.

В процессе электродиализа измеряли показатели pH и проводимость полупродуктов. Величина проводимости отражает степень деминерализации раствора в контрольной точке, показатель pH является одним из основных контролируемых показателей в сахарном производстве, так как низкий pH среды приводит к разложению сахарозы, поэтому данный фактор необходимо учитывать для выбора точек применения электродиализа и регулирования процесса.

Для исследования деминерализации использовали фильтрованный сок I сатурации как более щелочной, т.к. электродиализ вызывает снижение pH полупродуктов сахарного производства. Отбор и исследование образцов сока производили при следующих значениях pH: 10,9 (исходное качество); 10,5; 10,0; 9,5; 9,0; 8,5; 8,0 (остановка процесса).

В образцах сока определяли: чистоту сока, содержание золы [27], солей кальция, катионов калия и натрия [28], количество кислотных радикалов (в пересчете на молочную кислоту) (табл. 4).

По полученным результатам были рассчитаны мелассообразующий коэффициент и ожидаемые производственные показатели, такие как выход сахара, потери сахара в мелассе, чистота и выход условной мелассы (табл. 5) по уравнениям из классического метода П.М. Силина для очищенного сока [28–30].

Чистота диффузионного сока зависит от качества перерабатываемой свеклы и колеблется в интервале 86–92 %. Помимо сахарозы в диффузионный сок из свеклы переходят и другие компоненты, масс. % от содержания в свекле: высокомолекулярные соединения (ВМС) — 30, соли калия — 80, соли натрия — 60, аминный азот — 95, все моносахариды. В составе несахаров сока присутствуют

также органические кислоты с преобладанием молочной кислоты. Относительное содержание растворенных несахаров зависит от качества свеклы и в расчете на СВ раствора составляет 11–16 %.

Диффузионный сок, полученный из свеклы разного качества, по химическому составу можно разделить на три группы (табл. 1): I — хорошего качества, II — среднего качества, III — низкого качества [13].

Таблица 1. Характеристика диффузионного сока [13]
Table 1. Characteristic of diffusion juice [13]

Несахара	Количественное содержание, % к масс. свеклы		
	I	II	III
Общий несахар	2,0	2,0–2,6	2,6
Вещества коллоидной дисперсности	0,4	0,4–0,8	0,8
Пектиновые вещества	0,1	0,1–0,2	0,2
Аминный азот	0,025	0,025–0,04	0,04
Редуцирующие вещества	0,15	0,15–0,25	0,25
Зола	0,5	0,5–0,7	0,7

Из табл. 1 можно сделать вывод, что зола составляет 25–27 % несахаров (НСХ) диффузионного сока и существенно влияет на его качество.

Многочисленные исследования качества сахарной свеклы, выращиваемой в условиях Республики Беларусь, проводимые научно-исследовательской лабораторией сахарного производства, показали, что отечественное сырье характеризуется высоким содержанием золы в диапазоне 0,60–0,76 % к массе свеклы, а по некоторым зонам свеклосеяния уровень содержания золы доходит до 0,89 % к массе свеклы, что предполагает получение диффузионного сока низкого качества, даже при высоких показателях сахаристости свеклы и чистоты свекловичного сока. При этом содержание калия находится в диапазоне 5,13–8,20 ммоль на 100 г свеклы (среднее 6,67 ммоль на 100 г свеклы), содержание натрия — 0,36–1,20 ммоль на 100 г свеклы (среднее 0,78 ммоль на 100 г свеклы). Это обеспечивает соотношение калия к натрию 9 : 1, при оптимальном для переработки соотношении 5 : 1.

Содержание золы в полупродуктах сахарного производства представлено в табл. 2.

Таблица 2. Содержание золы в полупродуктах сахарного производства
Table 2. Ash content in semi-products of sugar production

	Содержание в полупродукте, % к массе полупродукта			Содержание золы на 100 НСХ, %	Содержание золы на 100 СВ, %
	СВ	золы	НСХ		
Диффузионный сок	17,84	0,4	1,69	23,7	2,2
Сок I сатурации	17,21	0,4	1,41	28,4	2,3
Сульфитированный сок	17,33	0,3	1,25	24,0	1,7
Оттёк утфеля I кристаллизации	81,00	3,7	12,18	30,4	4,6
Оттёк утфеля II кристаллизации	84,81	5,8	18,64	31,1	6,8
Меласса	84,21	7,7	27,75	27,7	9,1

Данные табл. 2 свидетельствуют о том, что зола из диффузионного сока мало удаляется в процессе его очистки.

Процентное содержание калия, натрия, кальция и магния в золе исследуемых полупродуктов приведено в табл. 3.

Минеральные вещества сахарной свеклы в большей степени представлены калием, который составляет 24,5–34,7 % золы полупродуктов, не удаляется в процессе очистки и накапливается в межкристалльных оттеках и мелассе (табл. 3).

Содержание натрия в диффузионном соке незначительно по сравнению с другими катионами, но уже в сульфитированном соке оно увеличивается за счет добавления подщелачивающих реагентов и достигает более 5 %.

Катионы кальция составляют 1,5 % от золы диффузионного сока. Они увеличиваются в соке I сатурации за счет добавления извести на очистку сока и удаляются до получения сульфитированного сока, но их количество остается значительным и влияет на работу теплообменной аппаратуры за счет образования малорастворимых солей с органическими кислотами и их отложения на теплообменных поверхностях.

Таблица 3. Массовая доля катионов в сырье и полупродуктах сахарного производства (% к массе золы)
Table 3. Mass fraction of cations in raw materials and semi-products of sugar production (% by weight of ash)

Полупродукт сахарного производства	Калий, %	Натрий, %	Кальций, %	Магний, %
Сахарная свекла	30,7	1,8	-	-
Диффузионный сок	27,8	1,0	1,5	3,5
Сок I сатурации	24,5	1,0	13,0	0,0
Сульфитированный сок	33,0	4,7	1,7	0,0
Оттёк утфеля I кристаллизации	33,7	5,4	1,7	0,1
Оттёк утфеля II кристаллизации	34,7	5,3	2,0	0,1
Меласса	32,5	4,6	1,7	0,1

Катионы магния обнаруживаются в значительном количестве в диффузионном соке. Далее по процессу катионы магния не обнаружены или их количество незначительно. Исходя из этого, в исследуемых пробах определяли содержание солей кальция титриметрическим методом, характеризующее общее содержание кальция и магния.

Модельные испытания электродиализа на полупродуктах сахарного производства показали, что катионы калия удаляются из них на 94,4–98,5 %. Из сока I сатурации катионы кальция удаляются на 93,6 %, из очищенного сока на 66,7 %. Чистота очищенного сока при этом повышается на 4,1 %, а сока I сатурации на 5,2 %, происходит улучшение технологических показателей.

Таблица 4. Показатели сока I сатурации
Table 4. Indicators of I saturation juice

Точка отбора	pH	Проводимость, мСм	Чистота, %	Зола, % к массе сока	Соли кальция, % к массе сока	Калий, % к массе сока	Натрий, % к массе сока	Кислотные радикалы, % к массе сока
1	10,9	4,69	89,05	0,41	0,068	0,102	0,004	0,600
2	10,5	2,84	91,09	0,22	0,037	0,055	0,004	0,330
3	10,0	1,57	94,09	0,11	0,017	0,029	0,004	0,194
4	9,5	0,89	95,12	0,06	0	0,015	0,002	0,147
5	9,0	0,46	96,09	0,02	0	0,006	0,002	0,063
6	8,5	0,29	96,15	0,01	0	0,003	0,002	0,018
7	8,0	0,22	96,34	0,00	0	0,002	0,002	0,023

Данные табл. 4 свидетельствуют о том, что уже в 4 точке отбора, соответствующей pH 9,5, проводимость раствора снижается на 81 %, содержание золы на 85,4 %, солей кальция на 100 %, калия на 85,3 %, количество натрия снижается до своей предельной точки, кислотных радикалов на 75,5 %. Чистота сока повышается на 6,07 единиц.

Ведение процесса до pH 9,0 позволяет дополнительно удалить 14 % кислотных радикалов и повысить чистоту сока на единицу, показатели зольного комплекса меняются незначительно. Дальнейшее ведение процесса нецелесообразно.

Таблица 5. Ожидаемые производственные показатели, рассчитанные по уравнениям из классического метода П.М. Силина

Table 5. Expected industrial indicators calculated by equations from the classical method of P.M. Silin

Точка отбора	Мелассотворный коэффициент m	Выход сахара, % к м.св.	Содержание сахара в мелассе, % к м.св.	Чистота мелассы, %	Выход условной мелассы, % к м.св.
1	0,91	14,31	1,79	47,4	4,3
2	0,80	14,84	1,26	44,3	3,2
3	0,76	15,33	0,77	43,1	2,0
4	0,69	15,53	0,57	40,4	1,6
5	0,63	15,69	0,41	38,4	1,2
6	0,59	15,72	0,38	36,8	1,2
7	0,59	15,74	0,36	36,7	1,1

Установленное значение рН конца процесса деминерализации для сока I сатурации (9,0–9,5) соответствует значению эффективной щелочности и в нашем случае соответствует оптимальной щелочности сока II сатурации, т.к. данному значению соответствует минимум солей кальция, а точнее их количество становится ниже чувствительности метода определения.

Данные табл. 5 свидетельствуют о снижении мелассотворного коэффициента при использовании электромембранной обработки сока I сатурации на 24,2–30,8 % в диапазоне рН 9,0–9,5. Это позволяет снизить содержание сахара в мелассе на 1,22–1,38 % к массе свеклы, тем самым повышая выход сахара с 14,3 до 15,5–15,7 % к массе свеклы. При этом чистота мелассы снижается на 7–9 единиц, а выход условной мелассы на 2,7–3,1 % к массе свеклы. Для точек 6 и 7 расчетные технологические показатели меняются незначительно.

Кроме того, большой интерес представляет изменение цветности раствора в процессе электродиализа. Снижение цветности растворов вероятно из-за обесцвечивания красящих веществ (рис. 2). Экспериментально установлено, что применение электродиализа позволяет на 19,3–28,4 % снизить цветность сахарного раствора и его мутность.



Рис. 2. Образцы, отобранные для исследования процесса деминерализации
Fig. 2. Samples selected to study the demineralization process

Таким образом, наиболее перспективным и малоисследованным методом обработки продуктов переработки сахарной свеклы с целью регулирования их минерального состава и снижения отрицательного влияния золы на технологический процесс получения сахара является электродиализ, позволяющий очищать сахарные растворы от электролитов. В статье представлены результаты экспериментов, подтверждающие положительный эффект применения электромембранной обработки в технологии переработки сахарной свеклы.

Процесс деминерализации исследовали с помощью лабораторной электромембранной установки Р EDR-Z с использованием мембран СМН-PES катионного типа и АМН-PES — анионного. Подводя итог лабораторным исследованиям процесса деминерализации сока I сатурации можно сделать заключение, что электромембранную обработку сока целесообразно проводить до конечной проводимости 0,46–0,89 при рН 9,0–9,5.

Экспериментально установлено, что применение электродиализа также позволяет на 19,3–28,4 % снизить цветность сока. Снижение цветности сахарных растворов является важным фактором для получения сахара высокого качества, а нарастание цветности является крайне нежелательным, поэтому данная проблема требует глубокого изучения.

Список использованных источников

1. Чернявская, Л.И. Методы определения качества свеклы по содержанию золы / Л.И. Чернявская // Сахар. — 2007. — № 2. — С. 21–27.
2. Чернявская, Л.И. Как добиться качества сахара экспортного потенциала? / Л.И. Чернявская // Сахар. — 2017. — № 6. — С. 22–27.
3. Содержание зольных элементов в белом сахаре, методы их контроля и снижения / Л.И. Чернявская [и др.] // Сахар. — 2017. — № 11. — С. 40–47.
4. Чернявская, Л.И. Экспресс-методы оценки свеклы. Алгоритмы расчета ее основных технологических показателей / Л.И. Чернявская // Сахар. — 2006. — № 5. — С. 22–25.

5. Бугаенко, И.Ф. Анализ потерь сахара в сахарном производстве и пути их снижения / И.Ф. Бугаенко. — Курск: АП «Курск», 1994. — 128 с.
6. Сапронов, А.Р. Технология сахарного производства / А.Р. Сапронов — М. : Колос, 1999. — 494 с.
7. Очистка диффузионного сока в сахарном производстве / З.В. Ловкис [и др.]; под общ. ред. З.В. Ловкиса. — Минск: Беларуская навука, 2013. — 232 с. — (Настольная книга производственника).
8. 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. — (Настольная книга производственника).
9. Никулина, О.К. Влияние качества сырья на процесс кристаллизации сахарозы / О.К. Никулина, В.В. Кулаковский // Пищевая промышленность: наука и технологии. — № 1(35), 2017. — С. 47–53.
10. Причины технологических отклонений в сахарном производстве, методы их устранения / З.В. Ловкис [и др.]; под общ. ред. З.В. Ловкиса. — Минск : ИВЦ Минфина, 2016. — 168 с.
11. Бугаенко, И.Ф. Принципы эффективного сахарного производства / И.Ф. Бугаенко — М. : ООО «Инмашпроект», 2003. — 285 с.
12. Бугаенко, И.Ф. Основы сахарного производства / И.Ф. Бугаенко — М. : Международная Сахарная Компания, 2002. — 357 с.
13. Сапронов, А.Р. Технология сахара песка и сахара рафинада / А.Р. Сапронов, Л.А. Сапронова. — М.: Колос, 1996. — 367 с.
14. Бугаенко, И.Ф. Повышение эффективности очистки диффузионного сока / И.Ф. Бугаенко. — М.: АгроНИИТЭИПП, 1993. — Вып. 5–6. — 47 с.
15. Бугаенко, И.Ф. Общая технология отрасли: Научные основы технологии сахара: Учебник для студентов вузов / И.Ф. Бугаенко, В.И. Тужилкин. Ч.1. — СПб. : ГИОРД, 2007. — 512 с.
16. Бобровник, Л.Д. Роль гидратации в мелассообразовании / Л.Д. Бобровник // Сахар. — 2015. — № 6. — С. 54–58.
17. Потери сахарозы в свеклосахарном производстве и пути их снижения / Н.Г. Кульнева [и др.] // Сахар. — 2011. — № 2. — С. 42–46.
18. Иониты для глубокой деминерализации и обесцвечивания сока II сатурации / С.Л. Филатов [и др.] // Сахар. — 2011. — № 2. — С. 47–49.
19. Поворов, А.А. Мембранная технология в сахарной промышленности / А.А. Поворов, Р.Г. Давыдова, Ю.В. Фомин // Сахар. — 2003. — № 1. — С. 36–43.
20. Ильина, С.И. Электромембранные процессы: учебное пособие / С.И. Ильина — М.: РХТУ им. Менделеева, 2013. — 57 с.
21. Дорофеева, Л.И. Разделение и очистка веществ мембранными, обменными и электрохимическими методами / Л.И. Дорофеева. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. — 111 с.
22. Дымар, О.В. Повышение эффективности переработки молочных ресурсов: научно-технологические аспекты / О.В. Дымар. — Минск : Колорград, 2018. — 236 с.
23. Дымар, О. В. Альтернативные варианты переработки сыворотки / О.В. Дымар // Молочная промышленность. — 2006. — № 6. — С. 16–17.
24. Возможности совершенствования технологии переработки сахарной свеклы с использованием электродиализа / О.В. Дымар [и др.] // Научно-техническое обеспечение эффективности и качества производства продукции АПК : Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию ВНИИПП (Ржавки, 2019). — С. 106–110.
25. 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. — № 3. — С. 74–79.
26. Миклух, И.В. Использование мембранных методов для обработки мелассы молочной / И.В. Миклух, О.В. Дымар, А.П. Райский // Повышение уровня и качества биогенного потенциала в животноводстве : Сборник научных трудов по материалам II международной научно-практической конференции (Ярославль, 21-22 сентября 2016). — С. 62–66.
27. Чернявская, Л.И. Методы определения качества свеклы по содержанию золы / Л.И. Чернявская // Сахар. — 2007. — № 4. — С. 12–18.
28. Методы оценки технологических качеств сахарной свеклы с использованием показателей содержания калия, натрия и α -аминного азота, определенных в свекле и продуктах ее переработки / В.Н. Кухар [и др.] // Сахар. — 2019. — № 1. — С. 18–36.
29. Чернявская, Л.И. Методы оценки качества свеклы, основанные на ее лабораторной переработке / Л.И. Чернявская // Сахар. — 2006. — № 4. — С. 19–24.
30. Чернявская, Л.И. Методы оценки качества сахарной свеклы как сырья для получения сахара / Л.И. Чернявская // Сахар. — 2006. — № 3. — С. 40–45.

References

1. Chernyavskaya L.I. Metody opredeleniya kachestva svekly po zol'nosti [*Methods for determining the quality of beets by ash content*]. Sakhar = Sugar, 2007, no. 2, pp. 21–27 (in Russian).
2. Chernyavskaya L.I. Kak realizovat' eksportnyy potentsial kachestva sakhara? [*How to achieve sugar quality export potential?*]. Sakhar = Sugar, 2017, no. 6, pp. 22–27 (in Russian).
3. Chernyavskaya L.I. Soderzhaniye zol'nykh elementov v belom sakhare, metody ikh kontrolya i vosstanovleniya [*The content of ash elements in white sugar, methods for their control and reduction*]. Sakhar = Sugar, 2017, no. 11, pp. 40–47 (in Russian).
4. Chernyavskaya L.I. Ekspress metody otsenki svekly. Algoritmy rascheta yego osnovnykh tekhnologicheskikh pokazateley [*Express methods for evaluating beets. Algorithms for calculating its main technological indicators*]. Sakhar = Sugar, 2006, no.5, pp. 22–25 (in Russian).
5. Bugaenko I.F. Analiz poter' sakhara pri proizvodstve sakhara i puti ikh snizheniya [*Analysis of sugar losses in sugar production and ways to reduce them*]. Kursk, AP Kursk, 1994, 128 p. (in Russian).
6. Sapronov A.R. Tekhnologiya proizvodstva sakhara [*Technology of sugar production*]. Moscow, Kolos, 1999, 494 p. (in Russian).
7. Lovkis Z.V. Ochistka diffuzionnogo soka pri proizvodstve sakhara [*Purification of diffusion juice in sugar production*]. Minsk, Belaruskaya navuka, 2013, 232 p. (in Russian).
8. 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. (in Russian).
9. 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, no. 1 (35), pp. 47–53 (in Russian).
10. 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. (in Russian).
11. Bugaenko I.F. Printsipy effektivnogo proizvodstva sakhara [*The principles of effective sugar production*]. Moscow, Inmashproekt LLC, 2003, 285 p. (in Russian).
12. Bugaenko I.F. Osnovy sakharnogo proizvodstva [*Fundamentals of sugar production*]. Moscow, International Sugar Company, 2002, 357 p. (in Russian).
13. Sapronov A.R. Tekhnologiya sakhara i rafinirovannogo sakhara [*Technology of sugar and refined sugar*]. Moscow, Kolos, 1996, 367 p. (in Russian).
14. Bugaenko I.F. Povysheniye effektivnosti ochistki diffuzionnogo soka [*Improving the efficiency of cleaning diffusion juice*]. Moscow, AgroNIITEIPP, 1993, 47 p. (in Russian).
15. 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. (in Russian).
16. Bobrovnik L.D. Rol' gidratsii u patoki [*The role of hydration in molasses*]. Sakhar = Sugar, 2015, no. 6, pp. 54–58 (in Russian).
17. 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, no. 2, pp. 42–46 (in Russian).
18. Filatov S.L. Ionity dlya glubokoy demineralizatsii i obestsvechivaniya sokov II saturatsii [*Ionites for deep demineralization and discoloration of juice II saturation*]. Sakhar = Sugar, 2011, no. 2, pp. 47–49 (in Russian).
19. Povorov A.A., Davydova R.G., Fomin Yu.V. Membrannyye tekhnologii v sakharnoy promyshlennosti [*Membrane technology in the sugar industry*]. Sakhar = Sugar, 2003, no. 1, pp. 36–43 (in Russian).
20. Ilyina S.I. Elektromembrannyye protsessy: uchebnoye posobiye [*Electro-membrane processes: a training manual*]. Moscow, RCTU them. Mendeleev, 2013, 57 p. (in Russian).
21. Dorofeeva L.I. Razdeleniye i ochistka veshchestv membrannym, obmennym i elektrokhimicheskim metodami [*Separation and purification of substances by membrane, exchange and electrochemical methods*]. Tomsk, Publishing House of Tomsk Polytechnic University, 2008, 111 p. (in Russian).
22. Dymar O.V. Povysheniye effektivnosti pererabotki molochnykh resursov: nauchnyye i tekhnologicheskiye aspekty [*Improving the efficiency of processing dairy resources: scientific and technological aspects*]. Minsk, Kolograd, 2018, 236 p. (in Russian).
23. Dymar O.V. Al'ternativnyye varianty obrabotki syvorotki [*Alternative whey processing options*]. Molochnaya promyshlennost = Dairy industry, 2006, no 6, pp. 16–17 (in Russian).
24. Dymar O.V. Vozmozhnosti sovershenstvovaniya tekhnologii pererabotki sakharnoy svekly s pomoshch'yu elektrodializa [*Opportunities for improving the technology of sugar beet processing using electrodialysis*]. Nauchno-tekhnicheskoye obespecheniye effektivnosti i kachestva proizvodstva produktsii APK: Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 90-letiyu VNIIPP [*Scientific*

- and technical support for the efficiency and quality of agricultural production: Materials of the international scientific and practical conference dedicated to the 90th anniversary of VNIIPP*. Rzhavki, 2019, pp. 106–110 (in Russian).
25. 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, pp. 74–79 (in Russian).
 26. Miklukh I.V., Dymar O.V., Raisky A.P. Primeneniye membrannykh metodov dlya pererabotki patoki moloka [*The use of membrane methods for the processing of molasses milk*]. Povysheniye urovnya i kachestva biogenogo potentsiala v zhivotnovodstve [*Improving the level and quality of nutrient potential in livestock*]. Minsk, 2016, pp. 62–66 (in Russian).
 27. Chernyavskaya L.I. Metody opredeleniya kachestva svekly po zol'nosti [*Methods for determining the quality of beets by ash content*]. Sakhar = Sugar, 2007, no. 4, pp. 12–18 (in Russian).
 28. Kuhar V.N. Metody otsenki tekhnologicheskikh kachestv sakharnoy svekly s ispol'zovaniyem pokazateley sodержaniya kaliya, natriya i a-aminnoy azota, opredelyayemykh v svekle i produktakh yeye pererabotki [*Methods for assessing the technological qualities of sugar beets using indicators of the content of potassium, sodium and a-amine nitrogen determined in beets and products of its processing*]. Sakhar = Sugar, 2019, no. 1, pp. 18–36 (in Russian).
 29. Chernyavskaya L.I. Metody otsenki kachestva svekly na osnove yeye laboratornoy obrabotki [*Beet quality assessment methods based on its laboratory processing*]. Sakhar = Sugar, 2006, no. 4, pp. 19–24 (in Russian).
 30. Chernyavskaya L.I. Metody otsenki kachestva sakharnoy svekly kak syr'ya dlya proizvodstva sakhara [*Methods for assessing the quality of sugar beets as raw materials for sugar production*]. Sakhar = Sugar, 2006, no. 3, pp. 40–45 (in Russian).

Информация об авторах

Никулина Оксана Константиновна — заведующий научно-исследовательской лабораторией 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.

Яковлева Мария Романовна — инженер-технолог научно-исследовательской лаборатории 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 научно-исследовательской лаборатории 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.

Дымар Олег Викторович — доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник отдела технологий продукции из корнеклубнеплодов РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: dymarov@tut.by.

Information about authors

Nikulina Oksana K. — The head of the research laboratory of sugar production of RUE «Scientific and Practical Centre for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus» (29, Kozlova st., 220037, Minsk, Republic of Belarus). Email: sugar@belpoduct.com

Yakovleva Maryia R. — engineer-technologist of RUE «Scientific and Practical Centre for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus» (29, Kozlova st., 220037, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: sugar@belpoduct.com.

Koloskova Olga V. — candidate of technical sciences, senior researcher of RUE «Scientific and Practical Centre for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus» (29, Kozlova st., 220037, Minsk, Republic of Belarus). Minsk, Republic of Belarus. Email: sugar@belpoduct.com

Dymar Oleg V. — ing., Ph.D, D.E.Sc., Professor, Chief Researcher of RUE «Scientific and Practical Centre for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus» (29, Kozlova st., 220037, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dymarov@tut.by.