

# Результаты практической реализации применения наноразмерного гидроксида алюминия в условиях сахарных заводов Украины

**Л.М. ХОМИЧАК**, д-р техн. наук, проф., чл.-корр. НААН Украины, зав. отд. технологии сахара, сахаросодержащих продуктов и ингредиентов (e-mail: Lhomichak@ukr.net)

Институт продовольственных ресурсов НААН Украины

**В.В. ОЛИШЕВСКИЙ**, канд. техн. наук, доц. каф. технологического оборудования и компьютерных технологий проектирования (e-mail: valinter@ukr.net)

Национальный университет пищевых технологий

**Е.Н. БАБКО**, канд. техн. наук, доц. каф. технологического оборудования и компьютерных технологий проектирования (e-mail: valinter@ukr.net)

Национальный университет пищевых технологий

**К.Г. ЛОПАТЬКО**, д-р техн. наук, проф. каф. технологии конструкционных материалов и материаловедения (e-mail: lopatko\_konst@hotmail.com)

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

## Введение

Показатели эффективности работы свеклосахарных заводов в значительной степени зависят от качества сырья и технологии получения диффузионного сока, а также определяются степенью его очистки на всех этапах производства [1–3]. Типовая аппаратно-технологическая схема переработки сахарной свёклы не обеспечивает достаточной полноты извлечения сахарозы и высокоэффективной известково-углекислотной очистки. Решению этих задач способствует совершенствование существующих и создание комплекса новых мер по повышению эффективности производства сахара. Однако, несмотря на многочисленные исследования экстракции сахарозы, в том числе в процессе подготовки экстрагента, возможности усовершенствования этого процесса до конца не исчерпаны и остаются актуальными.

Качество диффузионного сока зависит от содержания в нём несахаров и обусловлено многими факторами, основными из которых являются технологические показатели сырья и экстрагента (табл.1) [1]. Кроме того, качество

диффузионного сока, направляемого на стадию известково-углекислотной очистки, существенно зависит от условий экстрагирования сахарозы в диффузионном аппарате [2, 3]. При этом для получения качественного диффузионного сока и повышения выхода сахара при рациональном расходе извести необходимо:

– достигать максимальной очистки кондиционной сахарной свёклы от примесей и получать высококачественную свекловичную стружку;

– применять в диффузионном процессе качественную питательную воду с определённой температурой и величиной pH;

– использовать дополнительные алюминий- и кальцийсодержащие

реагенты при подготовке экстрагента;

– обеспечивать высокую степень отжима жома и возврат всей жомопрессовой воды в диффузионный аппарат.

**Цель работы** – усовершенствование процесса экстрагирования сахарозы путём предварительной обработки жомопрессовой воды наноразмерным гидроксидом алюминия.

**Задачи исследования** – определение места ввода и оптимального расхода реагента для предварительной обработки жомопрессовой воды, разработка технологической схемы и технологического режима усовершенствованного процесса экстракции сахарозы с использованием наноразмерно-

Таблица 1. Классификация диффузионных соков по К. Вукову [1]

Содержание несахаров	Качество диффузионного сока		
	Хорошая	Средняя	Плохая
Чистота, %	≥ 88,0	85,5–88,0	≤ 85,0
Общие несахара, % до м. б.	≤ 2,0	2,0–2,6	≥ 2,6
Зола, % к м. с.	≤ 0,5	0,5–0,7	≥ 0,7
Редуцирующие вещества, % к м. с.	≤ 0,15	0,15–0,025	≥ 0,25
Альфа-аминный азот, % до м. с.	≤ 0,025	0,025–0,04	≥ 0,4
Коллоиды, % к м. б. с.	≤ 0,4	0,4–0,8	≥ 0,8
Пектины, % к м. с.	0,1	0,1–0,2	≥ 0,2

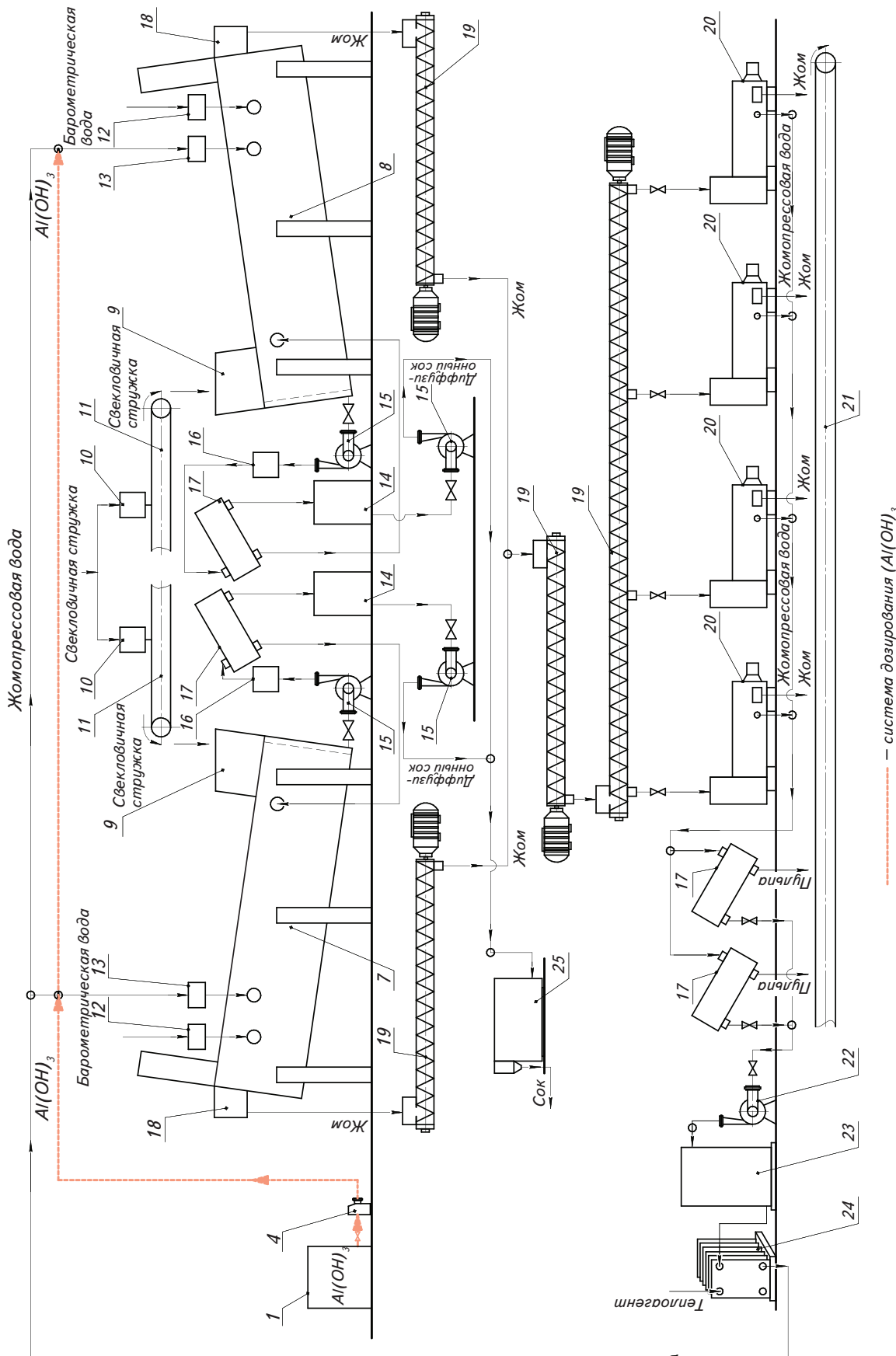


Рис. 1. Аппаратурно-технологическая схема диффузионно-прессового процесса извлечения сахарозы из свекольной стружки с использованием наноразмерного гидроксида алюминия: 1 – ёмкость  $Al(OH)_3$ ; 4 – ёмкость  $Al(OH)_3$ ; 7 – диффузионный аппарат; 8 – диффузионный аппарат; 9 – загрузочный бункер диффузионного аппарата; 10 – ленточные веса стружки; 11 – ленточный транспортер; 12 – сборник барометрической воды; 13 – сборник жомпрессованной воды; 14 – насос диффузионного сока; 15 – насос диффузионного сока; 16 – расходмер; 17 – мезгловушка; 18 – выгрузное устройство; 19 – шнековый транспортер; 20 – жомовые прессы; 21 – транспортер жом; 22 – насос жомпрессованной воды; 23 – сборник жомпрессованной воды; 24 – подогреватель жомпрессованной воды; 25 – предефектор

го гидроксида алюминия, а также её внедрение на свеклосахарных заводах.

**Условия и методы исследований**

Определение технологических показателей полупродуктов. При диффузионном извлечении сахарозы использовали методики, описанные в [4–7].

**Результаты и обсуждение**

Основной задачей исследований в области усовершенствования получения и очистки диффузионного сока является максимальное удаление несахаров при минимальных затратах энергетических и материальных ресурсов.

Первый этап исследований\* позволил теоретически обосновать и экспериментально подтвердить высокую эффективность использования комплексобразующих свойств наноразмерного гидроксида алюминия, полученного методом электроискрового диспергирования металла алюминия в водной среде, для интенсификации сорбционных и коагуляционных процессов в процессе экстрагирования сахарозы. На основании этих исследований разработана аппаратурно-технологическая схема, представленная на рис. 1. Реагент дозировали мембранным насосом 4 из ёмкости 1 в зону подачи жомпрессовой воды 11, 12 диффузионных аппаратов 7, 8.

В производственные сезоны 2016–2019 гг. на сахарных заводах ряда отечественных компаний – «Юкрейниан Шугар Компани» (Николаевская обл.) в 2016 г., агропромхолдинга «Астарт-Киев» – «Новоивановский сахарный завод» (Харьковская обл.) в 2017 г., «Ждановский сахарный

завод» (Винницкая обл.) в 2017 г., «Наркевичский сахарный завод» (Хмельницкая обл.) в 2019 г. были исследованы и внедрены в производство технологии получения наноразмерного гидроксида алюминия и способы его использования в процессе извлечения сахарозы из свекловичной стружки [9, 10]. В условиях завода «Юкрейниан Шугар Компани» (2017 г.) прошёл испытания электротехнический комплекс [8] производства наноразмерного гидроксида алюминия непосредственно в условиях завода (рис. 2) [9], характеристики и результаты электронной микроскопии которого представлены в табл. 2 и на рис. 3.

Исследования проводили при переработке свёклы среднего и высокого качества по типовым схемам сахарных заводов с использованием наноразмерного гидроксида алюминия для предварительной обработки жомпрессовой воды перед подачей её в диффузионные аппараты:

– схема предприятий «Юкрейниан Шугар Компани» и «Ждановский сахарный завод» – экстрагирование сахарозы с добавлением наноразмерного гидроксида алюминия в количестве 0,002 % к м. с.;

– схема предприятий «Наркевичский сахарный завод» и «Новоивановский сахарный завод» – экстрагирование сахарозы с применением гипса, сульфата алюминия и наноразмерного гидроксида алюминия в количестве соответственно 0,04, 0,02 и 0,002 % к м. с.

Эффективность различных вариантов экстрагирования сахарозы оценивали путём сравнения качественных показателей получаемых диффузионного и очищенного (сульфитированного) соков, жома. Результаты представлены в табл. 3.

За весь период исследований переработки свёклы с добавлением наноразмерного гидроксида алюминия в зависимости от типовых схем действующих заводов,

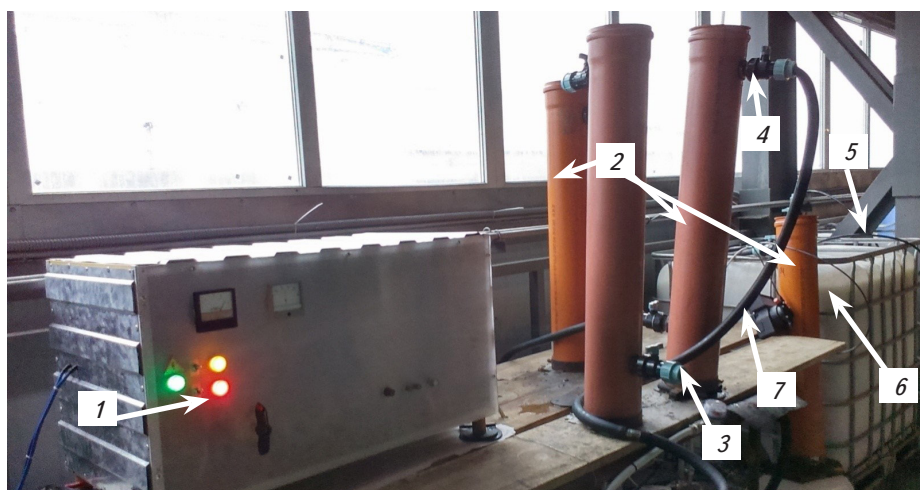
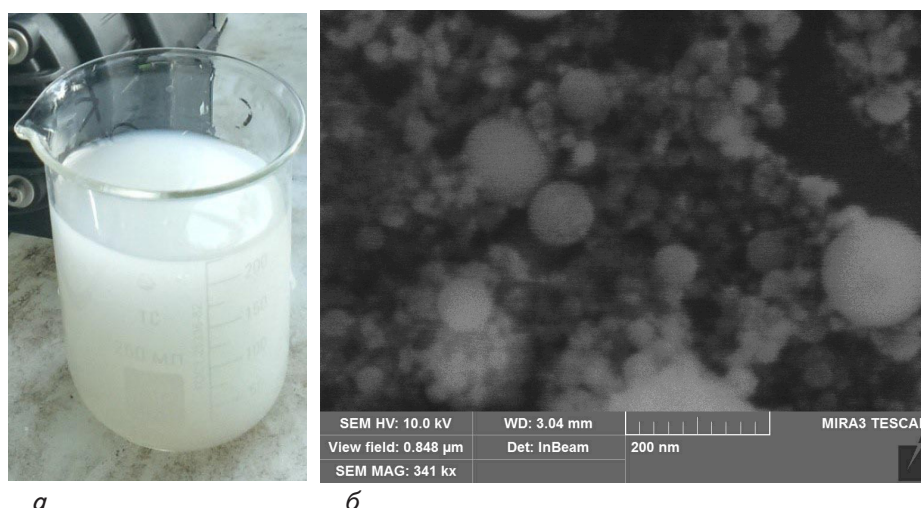


Рис. 2. Электротехнический комплекс получения наноразмерного гидроксида алюминия в производственных условиях «Юкрейниан Шугар Компани» [9]: 1 – генератор разрядных импульсов; 2 – разрядные камеры; 3 и 4 – патрубки подачи воды и отвода коллоида алюминия; 5 – система аэрации; 6 – ёмкость с коллоидом алюминия; 7 – система подачи коллоида

\* См.: В.В. Олишевский, Л.М. Хомичак, Е.Н. Бабко, К.Г. Лопатько, Д.Е. Бабко. Анализ применения алюминий- и кальцийсодержащих реагентов в технологическом процессе свеклосахарного производства («Сахар», 2020 г., № 4).

Таблица 2. Характеристика наноразмерного гидроксида алюминия, полученного электроискровым методом [8]

Реагент	Концентрация Al в реагенте, г/дм <sup>3</sup>	Электрокинетический потенциал, мВ	Электропроводность, мкСм/см <sup>2</sup>	pH
Al(OH) <sub>3</sub>	2,50	+ 32,3	85,4	4,75



а также технологических свойств свёклы отмечалось стабильное повышение чистоты диффузионного сока. Из представленных данных видно, что полученные по усовершенствованной технологии очищенный сок и прессованный жом имеют более высокое качество. Так, чистота диффузионного сока, по сравнению с чистотой сока, полученного по типовой технологии, на 0,4–1,6 % выше, а содержание сухих веществ в прессованном жоме выше на 3,4–9,4 % за счёт улучшения упруго-прочностных характеристик стружки. В конечном итоге усовершенствованная технология способствует увеличению общего эффекта очистки сока на 9,1–23,5 %.

Разработанная и внедрённая высокоэффективная технология двухстадийного извлечения диффузионного сока позволяет:

- использовать в технологическом процессе экстрагирования сахарозы реагенты нового поколения с наноразмерностью частиц алюминия 5–90 нм и положительным электрокинетическим потенциалом +32,3 мВ;
- снизить гидролиз пектина и переход высокомолекулярных

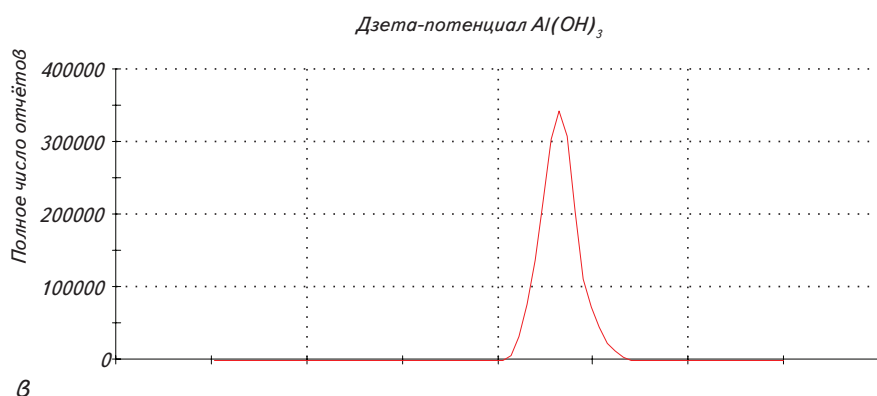


Рис. 3. Наноразмерный гидроксид алюминия  $Al(OH)_3$ , полученный электроискровым методом [8]: а – внешний вид; б – микрофотографии ТЕМ частиц  $Al$ ; в – график распределения дзета-потенциала методом электрофореза

Таблица 3. Влияние наноразмерного гидроксида алюминия, полученного электроискровым методом, на качественные показатели полупродуктов свеклосахарного производства

Показатели	Схема экстрагирования сахарозы из свекловичной стружки											
	«Юкрейниан Шугар Компани», 2016 г.			«Ждановский сахарный завод», 2017 г.			«Нововановский сахарный завод», 2017 г.			«Наркевичский сахарный завод», 2019 г.		
	Типовая	С добавлением наноалюминия	% к типовой	Типовая	С добавлением наноалюминия	% к типовой	Типовая	С добавлением наноалюминия	% к типовой	Типовая	С добавлением наноалюминия	% к типовой
Чистота сока, % свекловичного диффузионного сульфитированного	86	86	0	88,9	88,9	0	88,2	88,2	0	90,37	90,37	0
	87,2	88,6	+1,6	90,6	90,9	+0,4	90,4	90,9	+0,6	92,01	92,52	+0,6
	89,8	91	+1,3	92,5	92,9	+0,4	92,3	92,8	+0,6	93,5	94	+0,5
Эффект очистки сока, % диффузионного сульфитированного общий	16,2	21,0	+29,4	16,6	19,8	+19,3	20,7	25,5	+23,3	18,5	24,1	+30,4
	19,5	23,1	+18,6	23,3	23,7	+1,8	21,2	22,7	+7,4	19,9	21,1	+5,6
	35,7	44,1	+23,5	39,9	43,5	+9,1	41,8	48,2	+15,3	38,5	45,2	+17,5
Содержание СВ в прессованном жоме, %	25	27,4	+9,4	16,2	17,3	+7,0	18,4	19,26	+4,5	23,44	24,23	+3,4

соединений и коллоидных веществ в очищенный сок;

– повысить чистоту диффузионного сока на 0,4–1,6 %;

– повысить чистоту сульфитированного сока на 0,4–1,3 %;

– увеличить содержание сухих веществ в прессованном жоме на 3,4–9,4 %.

Результаты исследований свидетельствуют о том, что предварительная подготовка жомпрессовой воды наноразмерным гидроксидом алюминия улучшает показатели соков и прессованного жома. Это обусловлено положительным электрокинетическим потенциалом с величиной +32,3 мВ и наноразмерностью частиц алюминия величиной 5–90 нм. Достигнутый эффект объясняется образованием прочного комплекса пектата алюминия  $[(x \cdot \text{Al}(\text{OH})_3) \cdot (y \cdot \text{пектин})]$  при экстрагировании, вследствие чего наблюдается сохранение упругого каркаса проводящих тканей свекловичной стружки и, как следствие, уменьшение содержания пектиновых веществ в диффузионном соке. Кроме того, при прессовании жома часть алюминия переходит в жомпрессовую воду, что способствует уменьшению расхода реагента и уменьшению остаточного его содержания в прессованном жоме. К тому же в отличие от гипса наноразмерные частички алюминия не приводят к абразивному износу шнеков жомпрессов и инкрустации их сетчатой поверхности, а по сравнению с глинозёмом – не вызывают коррозию оборудования и не способствуют увеличению расхода извести на нейтрализацию  $\text{SO}_4^{2-}$  в условиях предварительной и основной дефекаций.

### Заключение

В ходе производственных исследований установлено, что использование наноразмерного гидроксида алюминия, полученного электроискровым методом, позволяет существенно повысить эффективность извлечения сахарозы

из свёклы. Показано, что полученные по усовершенствованной технологии очищенный прессованный жом и сатурационный сок имеют более высокое качество, что в конечном итоге обеспечивает повышение общего эффекта очистки на 9,1–23,5 %.

Способ интенсификации диффузионно-прессового способа извлечения сахарозы из свекловичной стружки с использованием наноразмерного гидроксида алюминия практически реализован в течение производственных сезонов 2016–2019 гг. на сахарных заводах отечественных компаний «Юкрейниан Шугар Компани» и агропромхолдинга «Астарт-Киев» с хорошими технологическими и экономическими эффектами. Мы готовы предоставить в целом необходимую конструкторскую документацию, непосредственно препарат и устройства для его дозирования, а также проводить научно-практическое сопровождение в условиях конкретного предприятия.

### Список литературы

1. *Vukov, K.* Physik und chemie der Zuckerrübe als Grundlage der Verarbeitungsverfahren / K. Vukov. – Budapest : Akademiai Kiado, 1972. – 458 p.
2. *Сапронов, А.Р.* Технология сахарного производства / А.Р. Сапронов. – 2-е изд., исправл. и доп. – М. : Колос, 1999. – 495 с.
3. *Asadi, M.* Beet-sugar handbook / Includes bibliographical references and index / M. Asadi. – Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken. New Jersey, 2007. – 868 p.
4. *Олішевський, В.В.* Вплив нанокompозиту алюмінію на дифузійні

властивості бурякової стружки / В.В. Олішевський [та ін.] // Цукор України. – № 5 (137). – 2017. – С. 17–23.

5. *Nykytiuk, T.* Impact of nanosized aluminum hydroxide on the structural and mechanical properties of sugar beet tissue / T. Nykytiuk, V. Olishchevskiy, E. Babko, O. Prokopiuk / Ukrainian Food Journal. – 2018. – Vol. 7. – Iss. 3. – Pp. 488–498.

6. Инструкция по химико-технологическому контролю и учёту сахарного производства. – К. : ВНИИСП, 1983. – 476 с.

7. Правила ведення технологічного процесу виробництва цукру з цукрових буряків. Правила усталеної практики (ПУП) 15.83-37-106:2007 / М.М. Ярчук [та ін.]. – Київ : Інформаційно-аналітичний центр «Цукор України», 2007. – 420 с.

8. Патент на корисну модель 113262 UA, МПК C13B 15/00. Пристрій для отримання колоїду металу / Олішевський В.В., Бабко Є.М., Балтажи О.П., Лапшин С.О., Лопатько К.Г. заявник і патентовласник Балтажи О.П. – № u 201809540, заявл. 21.09.2018; 26.12.2018, Бюл. № 24, 2018 р.

9. *Олішевський, В.В.* Досвід використання нанокompозиту алюмінію в умовах бурякоцукрового виробництва / В.В. Олішевський [та ін.] // Цукор України. – 2016. – № 11–12 (131–132). – С. 11–16 (фахове видання).

10. Патент України 104338 UA, МПК C13B 20/00 (2014.01). Спосіб очищення дифузійного соку / Олішевський В.В., Верченко Л.М., Маринін А.І., Ткаченко С.В., Ардинський О.В., Лопатько К.Г.; заявник і патентовласник НУХТ. – № a201204314; заявл. 06.04.2012; опубл. 27.01.2014, Бюл. № 2, 2014 р.

11. Патент України 114866UA, МПК C13B C13B 10/08 (2011.01). Спосіб екстрагування сахарози з бурякової стружки / Олішевський В.В., Українець А.І., Пушанко Н.М., Маринін А.І., Бабко Є.М., Лопатько К.Г.; заявник і патентовласник НУХТ. – № a2016 06321; заявл. 10.06.2016; опубл. 10.08.2017, Бюл. № 15, 2017 р.

**Аннотация.** В статье проанализирована практическая реализация использования разработанного в Национальном университете пищевых технологий наноразмерного гидроксида алюминия при извлечении сахарозы из свекловичной стружки на сахарных заводах Украины. Приведены результаты внедрения аппаратно-технологической схемы получения диффузионного сока с предварительной обработкой жомпрессовой воды наноразмерным гидроксидом алюминия.

**Ключевые слова:** свекловичная стружка, наноразмерный гидроксид алюминия, экстрагирование, эффект очистки.

**Summary.** The article analyzes the practical implementation, developed at the National University of Food Technologies, of nanosized aluminum hydroxide in the extraction of sucrose from beet chips in sugar factories in Ukraine. A hardware-technological scheme for the production of diffusion juice with preliminary preparation of pulp press water with nanosized aluminum hydroxide with subsequent purification has been developed and implemented.

**Keywords:** beet chips, nanosized aluminum hydroxide, extraction, cleaning effect.