

УДК 664:001.4

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИСПЕРСНОГО СКЛАДУ КРИСТАЛОУТВОРЮВАЧІВ
ДЛЯ УВАРЮВАННЯ УТФЕЛІВ*Анісімова О. М.¹, аспірантка*<https://orcid.org/0000-0002-8459-1631>*Ткаченко С. В.¹, к.т.н. с.н.с**відділу технології цукру, цукровмісних продуктів та інгредієнтів*<https://orcid.org/0000-0003-2897-8978>*Шейко Т. В.¹, к.т.н., учена секретарка*<https://orcid.org/0000-0002-0559-1335>*Хомічак Л. М.¹, д.т.н., професор, член-кореспондент НААН, директор,
завідувач відділу технології цукру, цукровмісних продуктів та інгредієнтів*<https://orcid.org/0000-0001-9003-0315>*Коротинський О. В.², старший викладач**кафедри харчових виробництв,*<https://orcid.org/0009-0001-5697-7609>¹Інститут продовольчих ресурсів НААН, Київ, Україна²Інститут післядипломної освіти НУХТ, Київ, Україна<https://doi.org/10.31073/foodresources2023-21-03>

Предмет. Якість та ефективність сучасних кристалоутворювачів характеризується рівномірним розміром мікрокристалів і складом стабілізаційної системи. Саме використання якісних матеріалів для утворення кристалічної основи, дозволяє ефективно регулювати процес кристалоутворення у пересиченому цукровому розчині і отримувати цукор з рівномірним розміром кристалів і високим відсотком їх вмісту. Одним із шляхів вирішення такого завдання є застосування дисперсного аналізу для підбору якісного кристалоутворювача, здатного утворювати необхідну кількість кристалів з рівномірним розміром в концентрованих цукрових розчинах. **Мета.** Метою роботи було провести оцінку дисперсного складу найбільш поширених затравних матеріалів (кристалоутворювачів) цукрового виробництва. **Методи.** Аналіз дисперсного складу кристалоутворювачів виконували за допомогою методу лазерної дифрактометрії на дифракційному лазерному аналізаторі моделі SALD-201V виробництва SHIMADZU (Японія). **Результати.** Наводяться найбільш поширені кристалоутворювачі, що застосовуються на вітчизняних і європейських цукрових заводах. Показано криві диференційного розподілу часточок найбільш поширених затравних матеріалів за розмірами та їх відсоткове співвідношення. Обґрунтована необхідність аналізу дисперсного складу частинок затравних матеріалів, що застосовуються для процесу кристалоутворення. **Сфера застосування результатів.** Визначення дисперсного складу кристалоутворювачів дає можливість об'єктивно оцінити розміри часточок кристалоутворювачів та їх рівномірність. Цукрові підприємства одержать дані щодо застосування найбільш доцільних кристалоутворювачів за дисперсним складом в технологічному процесі цукрового виробництва

Ключові слова: затравні матеріали, кристалоутворювачі, сироп, кристали, кристалізація, цукор.

STUDY OF THE DISPERSED COMPOSITION OF CRYSTAL FORMERS
FOR BOILING OF UTFELS*Olena Anisimova¹, Postgraduate*<https://orcid.org/0000-0002-8459-1631>*Serhii Tkachenko¹, PhD, Senior Research Fellow of Department
of Sugar Technology, Sugar-containing Products and Ingredients*<https://orcid.org/0000-0003-2897-8978>*Tamila Sheiko¹, PhD, Scientific Secretary*<https://orcid.org/0000-0002-0559-1335>

Liubomyr Khomichak¹, D-r of Sc., Engineering, Professor,

Corresponding member of the NAAS,

Head of the of Sugar Technology, Sugar-containing Products and Ingredients

<https://orcid.org/0000-0001-9003-0315>

Oleksandr Korotynskyi², Senior Lecturer of the Department of Food Production

<https://orcid.org/0009-0001-5697-7609>

¹Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine

²Institutes of Postgraduate Education of NUFT, Kyiv, Ukraine

<https://doi.org/10.31073/foodresources2023-21-03>

Subject. The quality and efficiency of modern crystal forming agents is characterized by the uniform size of microcrystals and the composition of the stabilization system. It is the use of high-quality materials for the formation of a crystal base that allows effective regulation of the process of crystal formation in a supersaturated sugar solution and producing sugar with a uniform crystal size and a high percentage of crystals. One of the ways to solve this problem is to use dispersion analysis to select a high-quality crystal forming agent capable of forming the required number of crystals with uniform size in concentrated sugar solutions. **Purpose.** The aim of the study was to evaluate the dispersed composition of the most common seed materials (crystal formers) in sugar production. **Methods.** The dispersive composition of crystal formers was analyzed by laser diffractometric using a diffraction laser analyzer model SALD-201V manufactured by SHIMADZU (Japan). **Results.** The most common crystal forming materials used in domestic and European sugar factories are presented. The curves of differential distribution of particles of the most common seed materials by size and their percentage are shown. The necessity of analyzing the dispersed composition of the particles of the seed materials used for the crystal formation process is substantiated. **Scope of research results.** Determination of the dispersed composition of crystal forming agents makes it possible to objectively assess the particle size of crystal forming agents and their uniformity. Sugar enterprises will receive data on the use of the most appropriate crystal forming agents in terms of dispersed composition in the technological process of sugar production.

Key words: seed materials, crystal formers, syrup, crystals, crystallization, sugar.

Постановка проблеми. Кристалізація цукру – важливий етап технологічного процесу, метою якого є максимальне вилучення розчиненої в сиропі сахарози і найбільш повне відокремлення її від нецукрів.

Новітні технології, які сприяють підвищенню ефективності процесу кристалізації цукру передбачають використання якісних кристалоутворювачів як для маточних так і основних утфелів, що дозволяє покращити гранулометричний склад цукру, його якість, вихід і скоротити час отримання утфелю [1–3].

Якісні показники готового утфелю, наявність у ньому мінімальної кількості конгломератів і рівномірний дисперсний склад залежить від кількості заведених кристалів, їх розміру та якості, а також від умов проведення процесу – температури та коефіцієнту пересичення за заведення кристалічної основи (затравки) [1, 2].

Важливим фактором отримання якісного утфелю є кількість заведеного кристалоутворювача, яка розраховується за формулою [4]:

$$m = m_1 \cdot \left(\frac{d_n}{d_k} \right)^3 \cdot \frac{k_1}{k_2} \cdot 10^6, \quad (1.1)$$

де m – витрата кристалоутворювача, г;

d_n – середній розмір частинок кристалоутворювача, мм;

d_k – середній розмір кристалів у готовому утфелю, мм;

k_1 – вміст кристалів в готовому утфелю (50-55%), %;

k_2 – вміст кристалів в кристалоутворювачі, %;

m_1 – маса готового утфелю, т, розраховується за формулою:

$$m_1 = \frac{V}{\rho}, \quad (1.2)$$

де V – об'єм готового утфелю, м^3 ;
 ρ – густина готового утфелю, т/м^3 .

Отже щоб здійснити максимально точні розрахунки, потрібно знати розмір мікрокристалів затравочного матеріалу.

Цукрові заводи наразі використовують для заведення центрів кристалізації різноманітні кристалоутворювачі, зокрема вводять цукрову пудру, цукор, порошки, суспензії, пластичні або твердопластичні матеріали [5]. Але більшість цукрових заводів все ж таки віддають перевагу заведенню затравних матеріалів у вигляді суспензії мікрокристалів, що отримують в умовах власного виробництва або ж замовляють у спеціалізованих виробників [5, 6].

Тому необхідним є дослідження і об'єктивна оцінка дисперсного складу кристалоутворювачів, які пропонуються для технологічного процесу кристалізації цукрози.

Такий підбір і застосування найбільш рівномірного кристалоутворювача за дисперсним складом в умовах цукрового заводу дасть змогу підвищити якісні показники і збільшити вихід готової продукції та зменшити витрати палива.

Матеріали та методи. Дисперсний склад кристалоутворювачів аналізували за допомогою методу лазерної дифрактометрії на дифракційному лазерному аналізаторі моделі SALD-201V (далі аналізатора) виробництва SHIMADZU (Японія) [7–10] (рис. 1).



Рис. 1. Загальний вигляд комплексу лазерного дифракційного аналізатора розмірів часточок Shimadzu-SALD-201V

Такий аналізатор призначений для вимірювання розмірів часточок і функцій розподілу їх за розмірами у суспензіях, емульсіях, різноманітних порошкоподібних матеріалів в діапазоні розмірів від 0,1 $\mu\text{м}$ до 350,0 $\mu\text{м}$.

Його принцип дії ґрунтується на реєстрації оптичного випромінювання, розсіяного часточками досліджуваного зразка під різними кутами в кюветі аналізатора. Принцип роботи аналізатора наведено на рисунку 2.

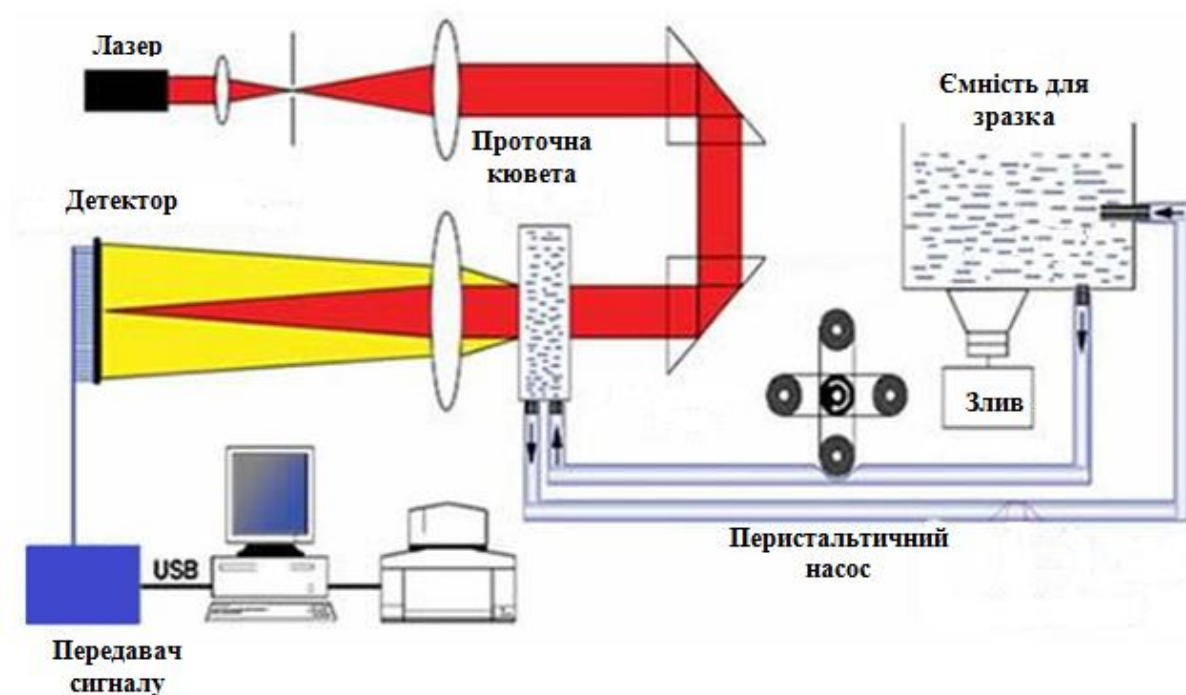


Рис. 2. Принцип роботи лазерного дифракційного аналізатора розмірів часточок Shimadzu-SALD-201V

Лазерне випромінювання, що розсіяне і відбите часточками, реєструється високочутливим багатеелементним детектором. Залежно від інтенсивності розсіяного випромінювання і кута розсіювання розраховується розподіл часточок за розмірами та їх відсоткове співвідношення. Для вимірювань передбачено використання непроточної або проточної кювети.

Комплекс аналізатора складається з оптично-аналітичного блоку і блоку підготовки проб. Непроточна кювета встановлюється в оптично-аналітичному блоку. Управління аналізатором виконують за допомогою персонального комп'ютера. Кореляційні функції обробляють в середовищі програмного забезпечення (ПЗ) WingSALD II-201V V3.3 (SHIMADZU, Японія) [11]. ПЗ «WingSALD II» призначене для проведення вимірювань розмірів часточок в суспензіях, емульсіях, порошках. Також ПЗ призначене для налаштування параметрів відображення результатів вимірювання, встановлення режимів вимірювання, виконання вимірювання, збереження результатів, перегляду і очищення архіву, передачі результатів вимірювань на зовнішні пристрої (принтер та ін.). Результати вимірювань виводяться у вигляді таблиць і графіків.

Для дослідження дисперсного складу використовували кристалоутворювачі у вигляді суспензії, що отримують в умовах різних цукрових заводів шляхом подрібнення цукру у млині і його подальшій стабілізації в спирті і кристалоутворювачі для цукрової промисловості, що виробляють спеціалізовані виробники. Для отримання об'єктивних результатів в якості контрольного зразка також було обрано цукрову пудру, що отримують в умовах заводу подрібненням кристалів цукру.

Підготовку зразків для вимірювання проводили наступним чином: перед вимірюванням кожен зразок кристалоутворювача у вигляді суспензії струшували вручну, далі зразки перемішували за допомогою магнітної мішалки впродовж 10 хв, потім поміщали в ультразвукову мішалку на 10 хв. Добре змішаний зразок брали для проведення вимірювання. Цукрову пудру, що застосовували у якості контрольного зразка додавали безпосередньо в проточну кювету аналізатора. В якості розчинника

застосовували ізопропіловий спирт в кількості 100 мл. Вимірювання виконували згідно рекомендацій наведених у [10, 11].

Результати та обговорення. З метою оцінки вихідних якісних характеристик різних кристалоутворювачів було проведено їх дисперсний аналіз, оскільки розміри їх кристалів впливають на швидкість утворення, рівномірність кристалів цукру, а також використовуються для розрахунку кількості затравного матеріалу. Результати досліджень наведені на рис. 3–9.

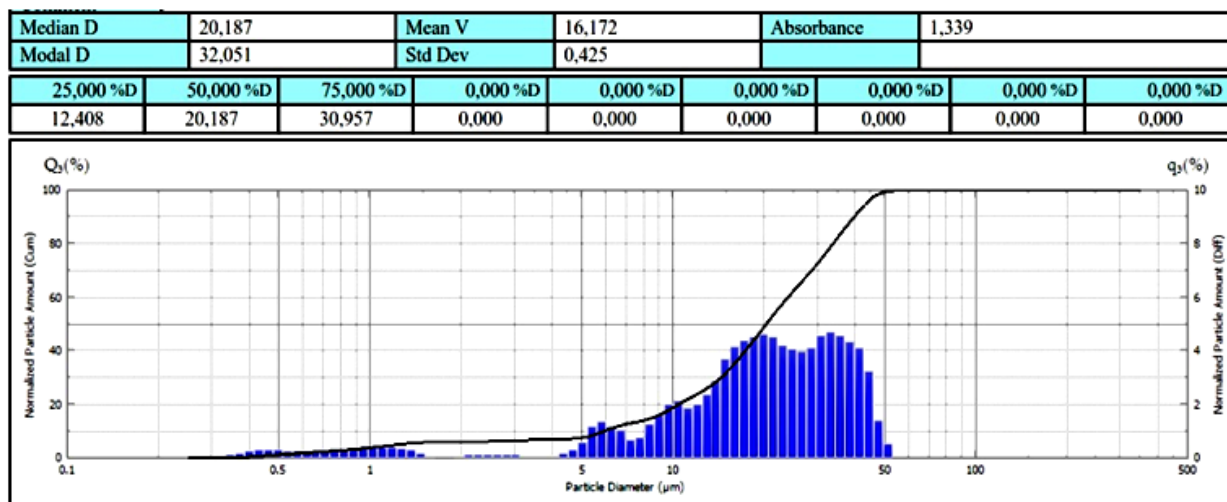


Рис. 3. Диференційний розподіл часточок за розмірами цукрової пудри

Аналіз дисперсного складу часточок цукрової пудри (рис. 3) показав, що середній розмір часточок складає 16,2 мкм розподіл є нерівномірним, полімодальним з максимальною модою піка в 32,1 мкм. Також в цукровій пудрі зустрічаються часточки з розміром менше 0,5–1,0 мкм та максимальним розміром в 53,2 мкм.

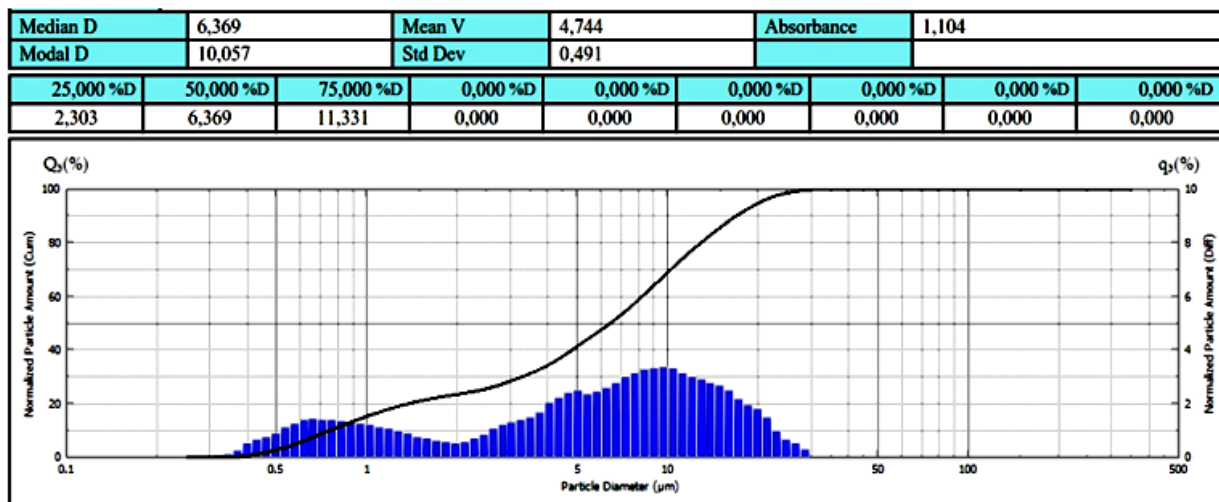


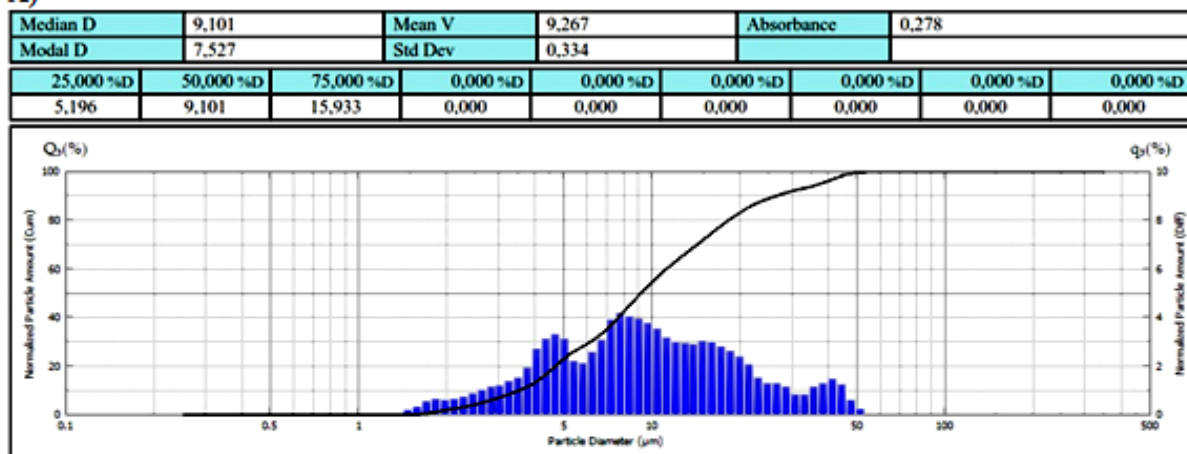
Рис. 4. Диференційний розподіл часточок за розмірами заводської суспензії власного виробництва ПрАТ «Гнідавський цукровий завод» (18.10.2018)

З аналізу розподілу за розмірами часточок заводської суспензії з Гнідавського цукрового заводу (рис. 4) можемо сказати, що розподіл є бімодальним з модами 0,7 мкм та 10,1 мкм, середній розмір часточок складає 4,7 мкм, розподіл є нерівномірним. Також зустрічаються часточки з найменшим розміром 0,3 мкм та максимальним розміром в 29,8 мкм.

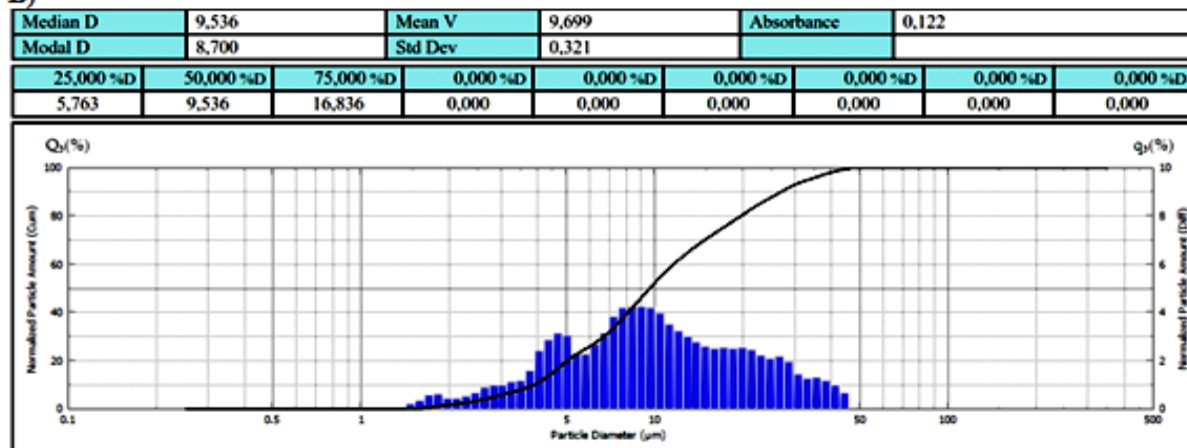
На Гнідавському цукровому заводі проводили експерименти з метою з'ясувати, яким чином виплаває середній розмір вихідних кристала цукру, що застосовують для

багаторазового подрібнення, на дисперсні характеристики отримуваної з нього затравки (рис. 5).

А)



Б)



В)

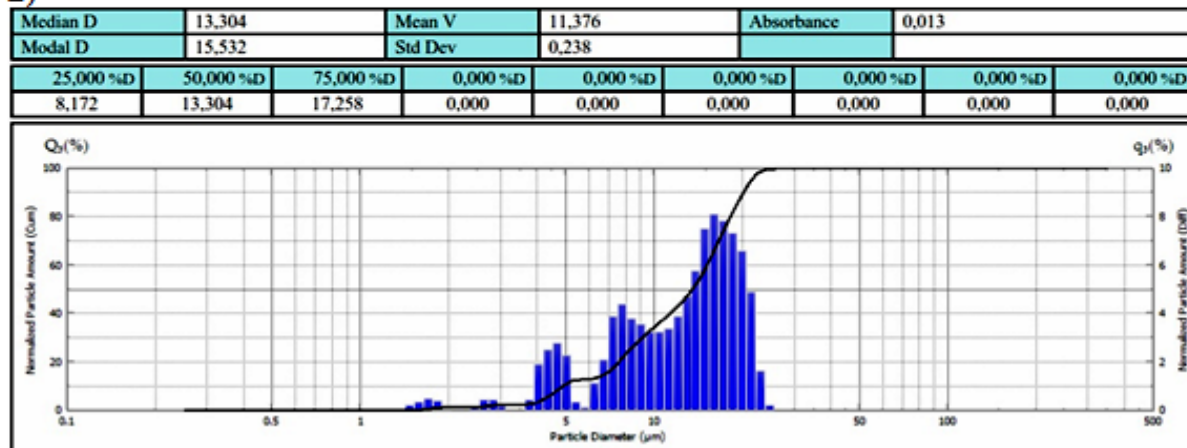


Рис. 5. Диференційний розподіл часточок за розмірами заводської суспензії власного виробництва ПрАТ «Гнідавський цукровий завод» (03.07.2019):

А) суспензія виготовлена з фракції цукру 0.25 мм; **Б)** суспензія виготовлена з фракції цукру 0.5 мм; **В)** суспензія виготовлена з фракції цукру 0.8 мм;

Аналіз дисперсного складу часточок заводської суспензії (рис. 5, А) показав, що середній розмір часточок складає 9,3 мкм розподіл є нерівномірним, полімодальний з

максимальною модою піка в 7,5 мкм. Також в суспензії зустрічаються часточки з розміром менше 2,0 мкм і максимальним розміром в 53,2 мкм.

З аналізу розподілу за розмірами часточок заводської суспензії (рис. 5, Б) можемо сказати, що розподіл також полімодальний, середній розмір часточок складає 9,7 мкм з максимальною модою піка 8,7 мкм. Також зустрічаються часточки з розміром менше 2,0 мкм і максимальним розміром в 46,0 мкм.

Дисперсний розподіл часточок заводської суспензії (рис. 5, В) вказує на те, що середній розмір часточок у кристалоутворювачі складає 11,4 мкм. Розподіл нерівномірний, з максимальною модою піка в 15,5 мкм. В кристалоутворювачі присутні часточки з найменшим діаметром 1,5 мкм і найбільшим 25,8 мкм.

Як бачимо з рисунку 5, А-В зі збільшенням середнього розміру вихідних кристалів, збільшується середній розмір часточок затравної суспензії, що можна пояснити незмінним циклом подрібнення в часі для всіх зразків. За цього у зразку суспензії з більшим середнім розміром (рис. 5, В) маємо менші максимальні розміри часточок в порівнянні зі зразками суспензії отримуваної із кристалів розміром 0,25, 0,5 мм (рис. 5, А, Б). Це свідчить про те, що часточки з малими розмірами сприяють утворенню більших за розмірами конгломератів. Тому багаторазове, довготривале подрібнення тільки буде погіршувати ситуацію і сприяти утворенню суспензії з нерівномірним дисперсним складом.

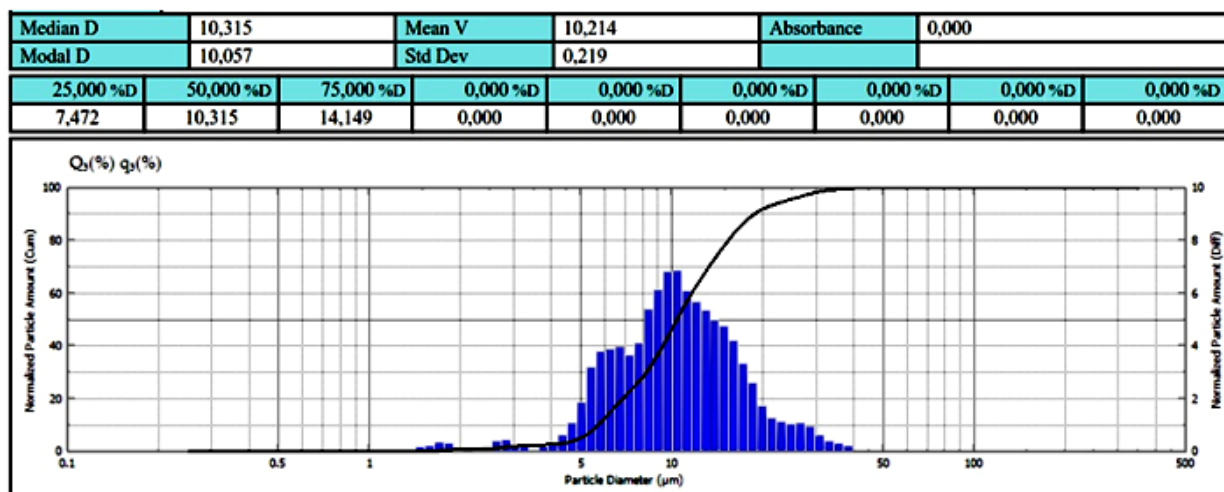


Рис. 6. Диференційний розподіл часточок за розмірами кристалоутворювача «Естер К 01»

Дисперсний розподіл часточок кристалоутворювача «Естер К 01» (рис.6) показав, що середній розмір часточок у кристалоутворювачі складає 10,2 мкм. Розподіл рівномірний, однорідний з модою піка в 10,1 мкм. В кристалоутворювачі присутні часточки з найменшим діаметром 1,5 мкм в кількості 0,144% по об'єму і найбільшим 39,8 мкм в кількості 0,19% по об'єму.

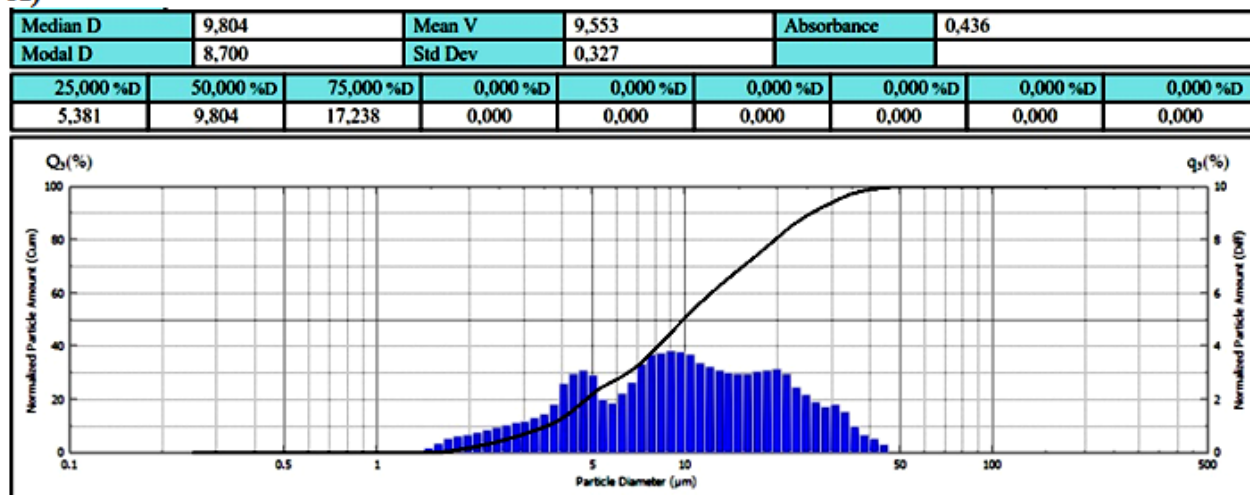
Кристалоутворювач марки «Естер К 01» [5, 6, 12], є суспензією кристалів цукру отриманих за спеціальною технологією осаджування з перенасиченого розчину і стабілізованих спеціально підібраним стабілізатором на основі харчової поверхнево-активної речовини. Застосована виробниками технологія виключає процес подрібнення кристалів, що дозволяє зберегти цілісність форми кристалів і забезпечує рівномірність їх розмірів.

Подібні дослідження проводили також на Наркевицькому цукровому заводі. Результати представлені на рисунку 7. За результатами дисперсного розподілу часточок заводської суспензії (рис. 7, А) середній розмір часточок у кристалоутворювачі складає 9,6 мкм. Розподіл нерівномірний, полімодальний з максимальною модою піка в 8,7 мкм.

В кристалоутворювачі присутні часточки з найменшим діаметром 1,5 мкм і найбільшим 46,0 мкм.

Результати аналізу дисперсного складу часточок заводської суспензії (рис. 7, Б) показали, що середній розмір часточок складає 4,1 мкм розподіл є нерівномірним, бімодальний з модами 0,7 мкм та 8,7 мкм. Також в суспензії зустрічаються часточки з розміром менше 0,5 мкм і максимальним розміром в 14,4 мкм.

А)



Б)

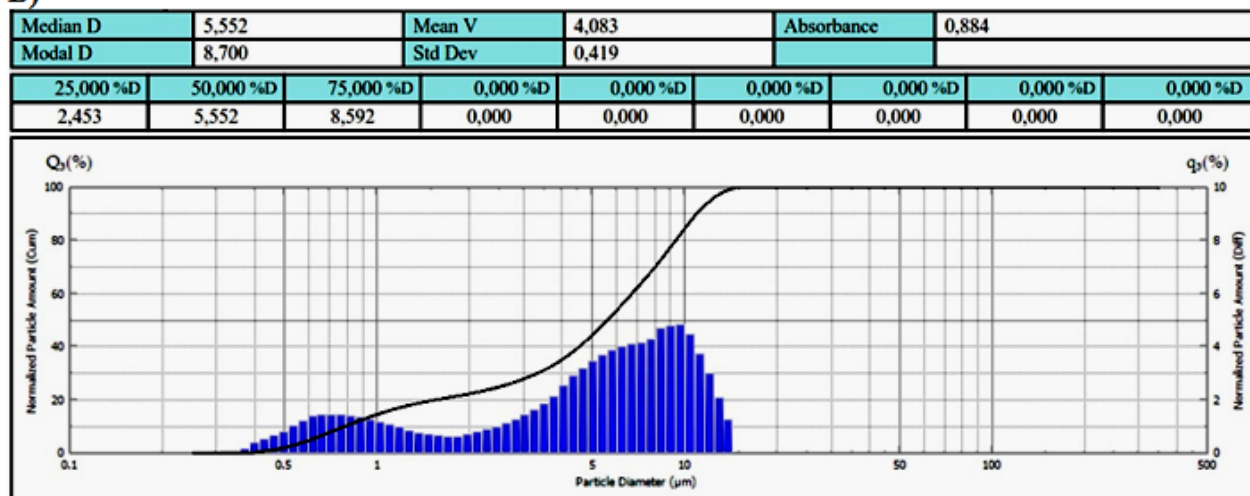


Рис. 7. Диференційний розподіл часточок за розмірами заводської суспензії власного виробництва ТОВ "Наркевицький цукровий завод":
А) дата дослідження (03.07.2019); **Б)** дата дослідження (17.09.2020)

На Наркевицькому цукровому заводі також пішли шляхом багаторазового довготривалого подрібнення цукру задля отримання рівномірного розміру часточок затравної суспензії, про що свідчать дані зображені на рис. 7, Б, в порівнянні з даними рис. 7, А, де суспензію отримували короткотривалим подрібненням. Цього разу для приготування такої суспензії було застосовано спеціальну суміш стабілізуючої рідини, що запобігає об'єднанню дрібних частинок у конгломерати, але й застосування навіть таких прийомів призводить до отримання суспензії з нерівномірним дисперсним складом.

З аналізу розподілу за розмірами часточок кристалоутворювача виробництва Німеччини (рис. 8) можемо зробити висновок, що розподіл в основному є бімодальним з модами 42,8 мкм і 88,4 мкм, середній розмір часточок складає 35,0 мкм, розподіл є

нерівномірним. Також зустрічаються часточки з найменшим розміром 4,0 мкм та максимальним розміром в 109,8 мкм.

Як бачимо кристалоутворювач Німецького виробництва також нерівномірний за дисперсним складом оскільки технологія його виготовлення також пов'язана з розмелюванням часточок цукрози.

Аналіз дисперсного складу частинок заводської суспензії (рис. 9) показав, що середній розмір часточок складає 7,8 мкм розподіл є нерівномірним, полімодальним з максимальною модою піка в 10,1 мкм. Також в цукровій пудрі зустрічаються часточки з розміром менше 0,6 мкм і максимальним розміром в 29,8 мкм.

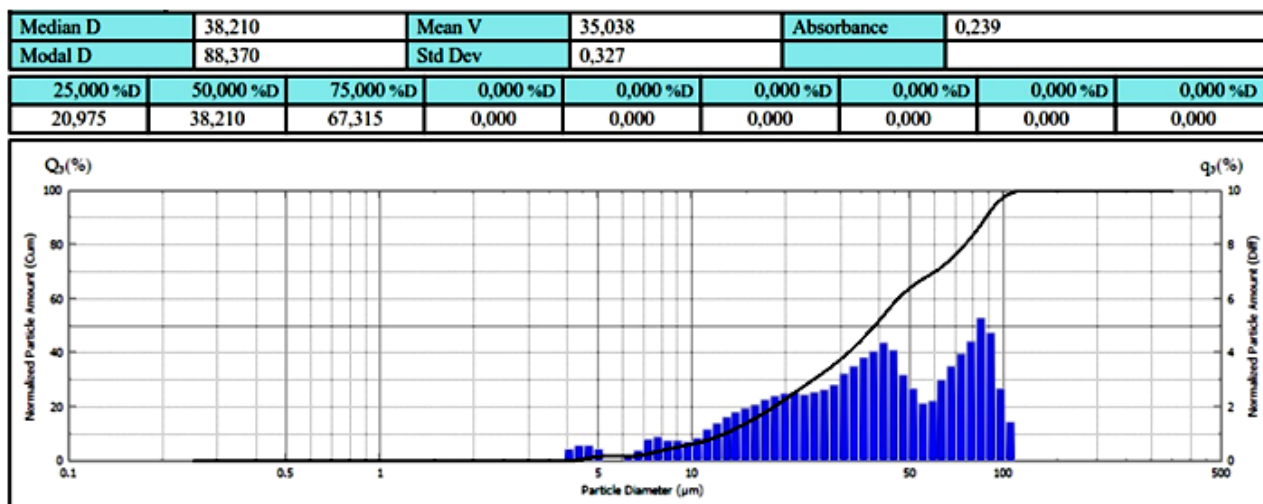


Рис. 8. Диференційний розподіл часточок за розмірами кристалоутворювача з Купчинського цукрового заводу, Республіка Молдова, виробництва Німеччини (03.07.2019)

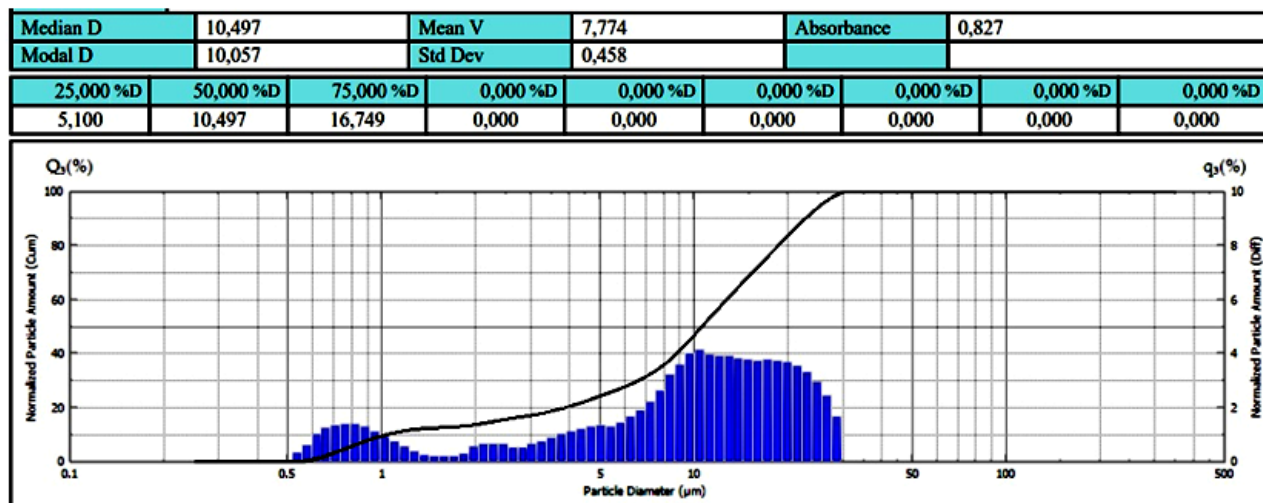


Рис. 9. Диференційний розподіл часточок за розмірами заводської суспензії власного виробництва ТОВ «Новооржицький цукровий завод» (24.11.2020)

Зведені дані щодо дослідження дисперсного складу кристалоутворювачів представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Дисперсний склад кристалоутворювачів

Зразок кристалоутворювача	Розмір часточок, мкм			
	25%	50%	75%	Середній розмір
Цукрова пудра (Контроль)	0–12,4	0–20,2	0–31,0	16,2
Заводська суспензія (Гнідава 18.10.2018)	0–2,3	0–6,4	0–11,3	4,7
Заводська суспензія 0.25 мм (Гнідава 03.07.2019)	0–5,2	0–9,1	0–15,9	9,3
Заводська суспензія 0.5 мм (Гнідава 03.07.2019)	0–5,8	0–9,5	0–16,9	9,7
Заводська суспензія 0.8 мм (Гнідава 03.07.2019)	0–8,2	0–13,3	0–17,3	11,4
Кристалоутворювач Естер К 01 (виробник Україна)	0–7,3	0–10,3	0–14,2	10,2
Заводська суспензія (Наркевичі 03.07.2019)	0–5,4	0–9,8	0–17,2	9,6
Заводська суспензія (Наркевичі 17.09.2020)	0–2,5	0–5,6	0–8,6	4,1
Кристалоутворювач з Купчинського цукрового заводу, Республіка Молдова (виробник Німеччина)	0–21,0	0–38,2	0–67,3	35,0
Заводська суспензія (Новооржиця 24.11.2020)	0–5,1	0–10,5	0–16,8	7,8

Висновки. Оскільки затравні суспензії також готують на основі цукрової пудри, тобто з тих же багаторазово подрібнених уламків кристалів цукру, то дисперсний склад таких суспензій дуже схожий з дисперсним складом цукрової пудри.

Серед досліджуваних зразків кристалоутворювачів більш-менш рівномірними за дисперсним складом виявилась: заводська суспензія 0.8 мм Гнідава 03.07.2019 (табл. 1, рис. 5, В); заводська суспензія Наркевичі 17.09.2020 (табл. 1, рис. 7, Б). Найкращі ж результати було отримано за дослідження кристалоутворювача Естер К 01 (рис. 6, табл. 1), що має рівномірний розмір кристалів і високий відсоток їх об'ємного співвідношення порівняно з іншими досліджуваними зразками.

Таким чином цукрові заводи в якості затравного матеріалу використовують суспензії, які готують самостійно шляхом розмелювання цукру в лабораторному кульовому млині в рідкому середовищі, що не розчиняє цукор. В якості дисперсного середовища найчастіше використовують спирт, у такому разі середній розмір мікрокристалів цукру, як ми бачимо (табл. 1), різниться від 5 до 35 мкм. Нерівномірність подрібнених кристалів призводить до нерівномірного зародження центрів кристалізації, у вакуум-апараті, що вкрай небажано [5].

Для цукрового виробництва необхідно провести процес кристалізації протягом оптимального часу і отримати рівномірні кристали цукру середнього розміру, що в подальшому легко піддаються обробці (центрифугування) і не спричиняють зниження якості та виходу кінцевого продукту – товарного цукру. Тому підбір якісного кристалоутворювача, в тому числі і за показниками дисперсного складу, дозволяє отримати цукор-пісок, кристали якого є правильної форми та рівномірні за розмірами, а також знизити вміст конгломератів в цукрі та тим самим підвищити ефективність роботи кристалізаційних відділень і якість готової продукції та її вихід, є дуже актуальним для цукрового виробництва

Подальша наша робота буде направлена на дослідження морфологічних характеристик і розмірів кристалів товарного цукру, отриманого за використанням різних кристалоутворювачів, що застосовують цукрові заводи.

Бібліографія

1. Скорик К. Д. Деякі аспекти роботи кристалізаційних відділень. Цукор України. 2006. № 1-2. С. 41–43.
2. Bennar, Marek & Betoret, E. & Bojnanska, Tatiana & Brño, D. & Hambalkova, Julia & Richter, Antonin. Optimal Particle Size Distribution of White Sugar. Listy Cukrovarnické a Řepařské. 2012. 128. P. 385-389.
3. Tkachenko S., Sheiko T., Petrenko V., Anisimova O., Kuznietsova I., Khomichak L., Obodovych O. Influence of crystallizing agent on sugar quality. Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria. 2020. 19(4). P. 457–465. <https://doi.org/10.17306/J.AFS.2020.0867>.
4. Хомічак Л. М., Анісімова О. М., Ткаченко С. В. Вплив затравочних матеріалів на ефективність кристалізації та якість цукру. Цукрова Галузь. Науково-інформаційний вісник, лютий-березень, 2021. №2(43). С. 9–12.
5. Ткаченко С., Шейко Т., Анісімова О., Кузнецова І. Класифікація та вибір найбільш поширених типів кристалоутворювачів для уварювання утфелів. *Продовольчі ресурси*. Т. 10, №19, 2022, с. 131-140, <https://doi.org/10.31073/foodresources2022-19-15>.
6. Кристалоутворювач ESTER K 01. <https://egh-ingredients.com/catalog/vspomo-gatelnye-veshchestva-dlya-sahara/ester-k-01/>.
7. SALD-201V Laser Diffraction Particle Size Analyzer. <https://www.shimadzu.com/an/powder/sald201v/201v.html>.
8. Ткаченко С. В., Шейко Т. В., Хомічак Л. М., Сличинський Є. В., Коротинський О. В. Дисперсний аналіз частинок суспензій для оптимізації технологічних процесів цукробурякового виробництва. Цукор України. 2018. № 4(146). С. 36–40.
9. Хомічак Л., Ткаченко С., Шейко Т., Кузнецова І., Джоган О., Зайчук Л. Практичний досвід та перспективи застосування аналізу розмірів частинок суспензій в технології цукробурякового виробництва. *Продовольчі ресурси*, № 14, 2020, с. 196–203, doi: <https://doi.org/10.31073/foodresources2020-14-20>.
10. Shimadzu-SALD-201V User's manual, Shimadzu Corporation, Japan, 2016. <https://www.shimadzu.com/an/powder/sald201v/201v.html>.
11. Software for laser diffraction particle size analyzer WingSALD II Instruction manual, Shimadzu Corporation, Japan, 2016.
12. Tkachenko S., Sheiko T., Anisimova O., Kuznietsova I., Khomichak L. (2021). Evaluation of the effectiveness of the influence of crystallizing agent on sugar quality. The international conference "Strategy for the Development of Sugars and Natural Sweeteners". December 15–16. 2021. Kyiv. P. 83–97.

References

1. Skoryk, K. D. (2006). Deiaki aspekty roboty krystalizatsiinykh viddilen [Some aspects of the work of crystallization departments]. Tsukor Ukrainy [Sugar of Ukraine]. 1–2, 41–43. [in Ukrainian].
2. Bennar, Marek, Betoret, E., Bojnanska, Tatiana, Brño, D., Hambalkova, Julia, Richter, Antonin. (2012). Optimal Particle Size Distribution of White Sugar. Listy Cukrovarnické a Řepařské. 128, 385–389.
3. Tkachenko, S., Sheiko, T., Petrenko, V., Anisimova, O., Kuznietsova, I., Khomichak, L., Obodovych, O. (2020). Influence of crystallizing agent on sugar quality. Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria. 19 (4), 457–465. <https://doi.org/10.17306/J.AFS.2020.0867>.
4. Khomichak, L. M., Anisimova, O. M., Tkachenko, S. V. (2021). Vplyv zatravochnykh materialiv na efektyvnist krystalizatsii ta yakist tsukru [Influence of inoculants on crystallization efficiency and sugar quality]. Tsukrova Haluz. Naukovo-informatsiinyi visnyk [Sugar Industry. Scientific and information bulletin]. february-march, 2(43), 9–12.
5. Tkachenko, S., Sheiko, T., Anisimova, O., Kuznietsova, I. (2022). Klasyfikatsiia ta vybir naibilsh poshyrenykh typiv krystaloutvoriuvachiv dlia uvariuvannia utfeliv [Classification and selection of the most common types of crystallizers for preparing magma], *Prodovolchi resursy* [Food resources], 10(19), P. 131–140. doi: <https://doi.org/10.31073/foodresources2022-19-15>. [in Ukrainian].
6. Krystaloutvoriuvach ESTER K 01 [Crystal former ESTER K 01]. <https://egh-ingredients.com/catalog/vspomogatelnye-veshchestva-dlya-sahara/ester-k-01/>.
7. SALD-201V Laser Diffraction Particle Size Analyzer. <https://www.shimadzu.com/an/powder/sald201v/201v.html>.

8. Tkachenko, S., Sheiko, T., Khomichak, L., Stychynskyi, Y., Korotynskyi, O. (2018). Dyspersnyi analiz chastynok suspensii dlia optymizatsii tekhnolohichnykh protsesiv tsukroburiakovoho vyrobnytstva [Dispersive analysis of suspension particles for optimization of sugar beet production processes]. *Tsukor Ukrainy* [Sugar of Ukraine]. 4(146), 36–40. [in Ukrainian].

9. Khomichak L., Tkachenko S., Sheiko T., Kuznietsova I., Dzhohan O., Zaichuk L. (2020). Praktychnyi dosvid ta perspektyvy zastosuvannia analizu rozmiriv chastynok suspensii v tekhnolohii tsukroburiakovoho vyrobnytstva [Practical experience and prospects of application of particle size analysis of suspensions in sugar beet production technology]. *Prodovolchi resursy* [Food resources], 14, P. 196–203. <https://doi.org/10.31073/foodresources2020-14-20> [in Ukrainian].

10. Shimadzu-SALD-201V User's manual (2016). Shimadzu Corporation, Japan. <https://www.shimadzu.com/an/powder/sald201v/201v.html>.

11. Software for laser diffraction particle size analyzer WingSALD II Instruction manual (2016). Shimadzu Corporation, Japan.

12. Tkachenko, S., Sheiko, T., Anisimova, O., Kuznietsova, I., Khomichak, L. (2021). Evaluation of the effectiveness of the influence of crystallizing agent on sugar quality. The international conference "Strategy for the Development of Sugars and Natural Sweeteners", 83–97. December 15–16. 2021. Kyiv. Ukraine.