

ПРАКТИЧНИЙ ДОСВІД ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ АНАЛІЗУ РОЗМІРІВ ЧАСТИНОК СУСПЕНЗІЙ В ТЕХНОЛОГІЇ ЦУКРОБУРЯКОВОГО ВИРОБНИЦТВА

Хомічак Л. М., д.т.н., професор,
член-кореспондент НААН, завідувач відділу технології цукру,
цукровмісних продуктів та інгредієнтів
Інститут продовольчих ресурсів НААН України, м. Київ, Україна
ORCID 0000-0001-9003-0315

Ткаченко С. В., к.т.н. с.н.с відділу технології цукру,
цукровмісних продуктів та інгредієнтів
Інститут продовольчих ресурсів НААН України, м. Київ, Україна
ORCID 0000-0003-2897-8978

Шейко Т. В., к.т.н., завідувач відділу координації наукових
досліджень та підготовки наукових кадрів
Інститут продовольчих ресурсів НААН України, м. Київ, Україна
ORCID 0000-0002-0559-1335

Кузнецова І. В., д.с-г.н., с.н.с., г.н.с відділу технології цукру,
цукровмісних продуктів та інгредієнтів
Інститут продовольчих ресурсів НААН України, м. Київ, Україна
ORCID 0000-0001-8530-2099

Джоган О. І., к.т.н. с.н.с. відділу технології цукру, цукровмісних
продуктів та інгредієнтів
Інститут продовольчих ресурсів НААН України, м. Київ, Україна
ORCID 0000-0002-3827-677X

Зайчук Л. П., головний фахівець лабораторії якості сировини відділу технології цукру,
цукровмісних продуктів та інгредієнтів
Інститут продовольчих ресурсів НААН України, м. Київ, Україна
ORCID 0000-0001-9526-0275

<https://doi.org/10.31073/foodresources2020-14-20>

Аналіз розмірів частинок дає можливість визначити дисперсність різних суспензій, емульсій і порошкоподібних матеріалів, класифікувати їх за структурною характеристикою та походженням, оцінювати деякі їхні фізичні та хімічні властивості. Сфера застосування дисперсійного аналізу частинок у цукровому виробництві дуже широка, це аналіз соків I, II карбонізації, сиропів, осадів, суспензій, вапняного молока, матеріалів, що використовуються для створення фільтрувального шару. Крім цього, дисперсійний аналіз частинок дасть змогу оцінити ефективність використання різноманітних фільтрувальних перегородок (фільтрувальних тканин, сит, нетканих матеріалів). Метою роботи було оцінити можливість застосування дисперсійного аналізу на окремих етапах технології цукробурякового виробництва. У статті показано можливість застосування лазерного дифракційного аналізатора розмірів частинок SHIMADZU SALD-201V для аналізу проміжних продуктів та допоміжних матеріалів цукрового виробництва. Описано конструкцію та принцип дії, наведено приклад протоколу вимірювань. Також наведено дані щодо нормативних показників розмірів частинок основних проміжних продуктів. Показано можливість застосування портативного мутноміра, що дозволяє визначати концентрацію частинок суспензій в одиницях мг/л та наведено нормативні дані мутності основних проміжних продуктів. Представлено інформацію щодо результатів використання даного аналізатора на одному з цукрових заводів західного регіону України для оцінки

ефективності проведення основних етапів технологічного процесу та обґрунтовано деякі причини порушення його окремих етапів. Також наведено перспективи використання результатів дифракційного аналізатора розмірів частинок SHIMADZU SALD-201V в технологічному процесі цукробурякового виробництва серед яких поглиблення і розширення спектру показників контролю технологічного процесу виробництва цукру для вдосконалення чи оптимізації виробничих процесів та оптимального підбору фільтрувальних тканин, що будуть найкраще відповідати поставленим вимогам.

Ключові слова: аналізатор, дисперсний аналіз, фільтрувальна перегородка, суспензії, вапняне молоко, перліт, цукрове виробництво

PRACTICAL EXPERIENCE AND APPLICATION PROSPECTS OF ANALYSIS OF SUSPENSION PARTICLES SIZES IN THE TECHNOLOGY OF THE BEET SUGAR PRODUCTION

Khomichak Lubomir, Doctor of Technical Sciences, Professor,
NAAS Corresponding Member,
Head of Department of Sugar Technology, Sugar Products and Ingredients,
Institute of Food Resources NAAS Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID 0000-0001-9003-0315

Tkachenko Serhii, PhD, Senior Research Fellow,
Department of Sugar Technology, Sugar Products and Ingredients,
Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine
ORCID 0000-0003-2897-8978

Sheiko Tamila, PhD, Head of Department
of Scientific Coordination Research and Training of Scientific Personnel
Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine
ORCID 0000-0002-0559-1335

Kuznetshova Inha, D-r of Sc., Agricultural, Senior Research Fellow,
Department of Sugar Technology, Sugar Products and Ingredients,
Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine
0000-0001-8530-2099

Dzhohan Olha, PhD, Senior Research Fellow
Department of Sugar Technology, Sugar Products and Ingredients,
Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine
ORCID 0000-0002-3827-677X

Zaichuk Liudmyla, Chief specialist laboratory for quality of raw materials,
Department of Sugar Technology, Sugar Products and Ingredients,
Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine
ORCID 0000-0001-9526-0275

<https://doi.org/10.31073/foodresources2020-14-20>

Particle size analysis makes it possible to determine the dispersion of various suspensions, emulsions and powdered materials, to classify them by their structural characteristics and origin, to evaluate some of their physical and chemical properties. The scope of dispersion analysis of particles in sugar production is very broad, it is the analysis of juices I, II carbonization, syrups, sediments, suspensions, lime milk, materials used to create a filter layer. Also, dispersion analysis of the particles will allow you to evaluate the effectiveness of the use of various filter partitions (filter cloths, sieves). The study aimed to evaluate the possibility of using analysis of variance at separate stages of sugar beet production technology. The article shows the possibility of using a laser diffraction analyzer of particle size SHIMADZU SALD-201V for the analysis of intermediate

products and auxiliary materials of sugar production. The design and principle of operation are described and an example of a measurement protocol is given. The data on the regulatory particle size indices of the major intermediates are also given. The possibility of using a portable turbidimeter, which allows determining the concentration of particles of suspensions in units of mg/l, is shown. The information on the results of using this analyzer at one of the sugar factories in the western region of Ukraine is presented to evaluate the efficiency of the main stages of the technological process and justify some reasons for the violation of its stages. The prospects of using the results of the diffraction analyzer particle size SHIMADZU SALD-201V in the process of sugar beet production, including the deepening and expansion of the range of indicators of the control of the technological process of sugar production to improve or optimize the production processes and the optimal selection of filter fabrics that will meet the most demanding filter fabrics are also presented.

Keywords: analyzer, disperse analysis, filter partitions, suspensions, lime milk, perlite, sugar production

Постановка проблеми. Аналіз розмірів частинок полягає в оцінюванні кількісного співвідношення різних структурних елементів твердої фази. За результатами зазначеного аналізу можна зробити висновки про дисперсність різних суспензій, емульсій і порошкоподібних матеріалів, а також провести їх класифікацію. Крім того, гранулометричний склад дозволяє класифікувати їх за структурною характеристикою та походженням, оцінювати деякі їх фізичні та хімічні властивості.

Методи аналізу розмірів частинок, або дисперсного аналізу, що широко використовуються на практиці, не набули поширення в технологічному процесі цукробурякового виробництва, оскільки мають загальні і власні похибки – такі, як похибка по масі частинок, коливання за визначення щільності частинок речовини, зміна температури, в'язкості і густини суспензії і т.д. Пріоритетними чинниками за визначення розміру частинок має бути простота підготовки проби і швидкість проведення випробувань.

Матеріали та методи. В якості альтернативи загальноприйнятим методам досліджень розглядається метод лазерної дифрактометрії на прикладі дифракційного лазерного аналізатора моделі SALD-201V (далі аналізатора) виробництва SHIMADZU (Японія) [1], що наведено на рис. 1.



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

Аналізатор призначений для вимірювання дисперсних параметрів (розмірів частинок і функцій розподілу часток за розмірами) суспензій, емульсій і порошкоподібних матеріалів в діапазоні від 0,1 мкм до 350,0 мкм.

Принцип його дії заснований на реєстрації оптичного випромінювання, розсіяного частинками досліджуваного зразка в кюветі аналізатора під різними кутами. Схема роботи аналізатора зображена на рисунку 2.

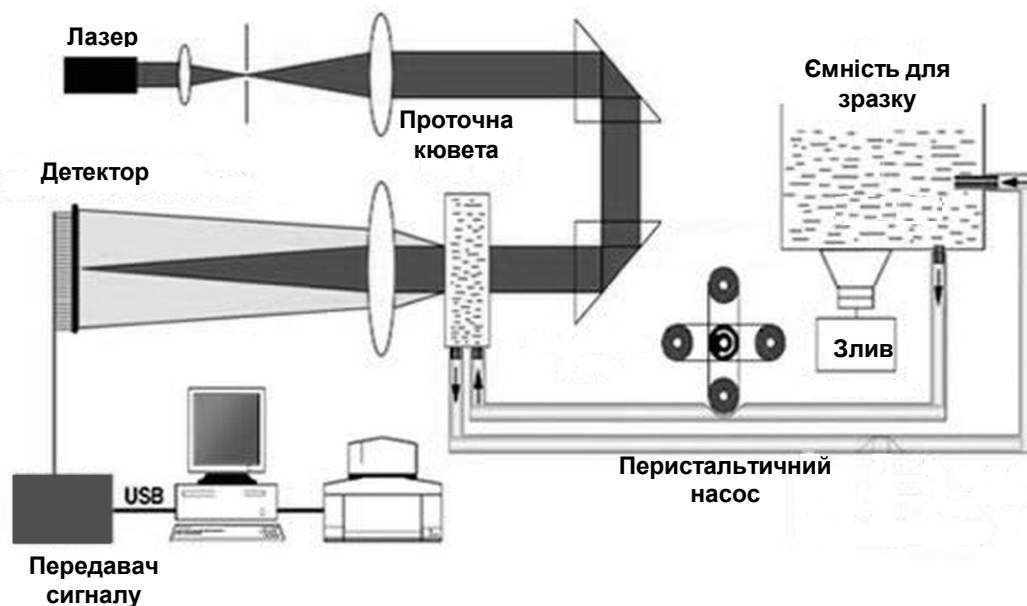


Рис. 2. Схема роботи лазерного дифракційного аналізатора розмірів частинок Shimadzu-SALD-201V

Розсіяне (відбите) частинками лазерне випромінювання реєструється за допомогою високочутливого багатементного детектора. В залежності від вимірної інтенсивності розсіяного випромінювання та кута розсіювання здійснюється розрахунок розподілу частинок за розмірами та відсотковому співвідношенні. Для проведення вимірювань використовуються проточна або непроточна кювети.

Конструктивно аналізатор складається з оптично-аналітичного блоку і одного блоку пробопідготовки. Непроточна кювета встановлюється в відповідне гніздо оптично-аналітичного блоку.

Управління аналізатором здійснюється за допомогою персонального комп'ютера.

Прилад має автономне програмне забезпечення (ПЗ) «WingSALD II», що призначене для проведення вимірювань розмірів частинок в суспензіях, емульсіях і порошкоподібних матеріалах. ПЗ використовується для налаштування параметрів відображення результатів вимірювань, установки режимів вимірювань, виконання вимірювань, збереження результатів вимірювань, перегляду і очищення архіву вимірювань, передачі результатів вимірювань на зовнішні пристрої (принтер і т.д.).

Представлення результатів вимірювань передбачено у вигляді таблиць і графіків (рис. 3).

Спектр застосування лазерного дисперсного аналізу частинок у цукровому виробництві дуже широкий: це аналіз соків I, II карбонізації, сиропів, осадів, суспензій, вапняного молока, матеріалів, що використовуються для створення намівного фільтрувального шару. Зокрема, на етапах I та II карбонізації однією із умов якості проведення технологічного процесу є отримання однорідних частинок осаду з метою забезпечення гарних фільтраційних властивостей соків. Визначивши розмір частинок вапняного молока, можна встановити та контролювати режим випалу вапняку [2], а визначення розмірів частинок намівного матеріалу для фільтрування (перліт, кізельгур, діатоміт, тощо) дозволить підібрати дисперсний матеріал, що забезпечить оптимальне співвідношення між якісними показниками отриманого продукту та пропускною здатністю фільтрувальної перегородки.

Окрім цього, дисперсний аналіз частинок дасть змогу оцінити ефективність використання різноманітних фільтрувальних перегородок (фільтрувальних тканин, сит, нетканих матеріалів), порівнюючи дані розміру частинок у напівпродуктах до фільтрувальної перегородки та після неї, а також дію різноманітних флокулянтів та коагулянтів, щодо укрупнення частинок на етапах технологічного процесу очищення дифузійного соку.

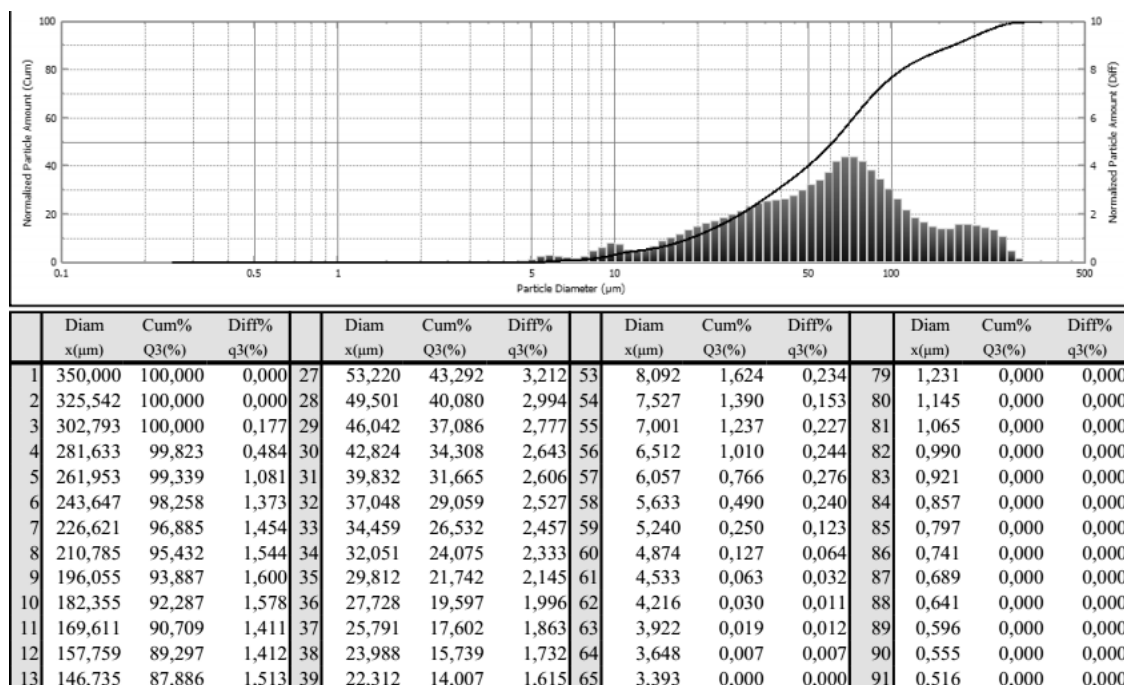


Рис. 3. Зображення частини протоколу вимірювання розмірів частинок карбонізованого соку на аналізаторі Shimadzu-SALD-201V

З використанням даного аналізатора було проведено оцінку технологічного процесу 10 цукрових заводів, серед яких заводи України, Молдови, Білорусі.

В якості нормативних показників розмірів частинок у напівпродуктах використовували відомі з літературних джерел дані (табл. 1).

Таблиця 1

Характеристики дисперсності частинок напівпродуктів цукрового виробництва

Назва	Орієнтовний розмір частинок, мкм
Нефільтрований сік I карбонізації	10...40 [3]
Нефільтрований сік II карбонізації	5...16 [4]
Сироп після випарної станції	2...5 [5]

Для більш точного кількісного оцінювання гранулометричного складу напівпродуктів цукрового виробництва (соки, сиропи, суспензії), застосовували сучасний портативний мутномір Orion AQ4500 (рис. 4), що давав можливість не тільки оцінити рівень мутності досліджуваних напівпродуктів в одиницях мг/л, а й отримати дійсний кількісний розподіл частинок за розмірами.

Оскільки дифракційний аналізатор дає відсотковий розподіл частинок у розчині, а мутність це і є, фактично, концентрація частинок в розчині, то для визначення дійсного

кількісного розподілу частинок в мг/л достатньо перерахувати відсоткове співвідношення частинок через мутність відповідного розчину.



Рис. 4. Загальний вигляд комплекту портативного мутноміра Orion AQ4500

Для оцінки мутності напівпродуктів цукрового виробництва за нормативи використовували дані, що наведені у таблиці 2 [6].

Таблиця 2

Норми мутності напівпродуктів цукрового виробництва [6]

Назва	Фільтрувальне обладнання	Норма (одиниці) мг/л
Фільтрований сік I карбонізації	ФиЛС, П9-УФЛ, МВЖ, гравітаційні відстійники, дискові фільтри	200-500
Фільтрований сік II карбонізації	ФиЛС, П9-УФЛ, МВЖ, гравітаційні відстійники, дискові фільтри, патронні фільтри	70-100
Фільтрований сироп з клеровкою	МВЖ, дискові фільтри, патронні фільтри	25-30

Результати та обговорення. Результати технологічного оцінювання одного із цукрових заводів Західного регіону України представлені у таблиці 3.

Аналіз отриманих даних показав, що розділення суспензії I карбонізації проходить у відстійниках, які відповідають продуктивності заводу. Отриманий декантат має високі технологічні показники. Мутність складає 7,2 мл/л, а середній розмір зважених частинок досягає 24 мкм.

За результатами аналізів до якості фільтрації соку II карбонізації і контрольної фільтрації виникли деякі зауваження. Для фільтрування використовувалася монофіламентна тканина, яка має задовільні характеристики щодо фільтрування соків, але є зауваження щодо проведення її регенерації. За роботи на обладнанні під тиском, тканина дещо розтягується і частинки твердої фази з соку можуть проходити за фільтрувальну перегородку, відповідно, середній розмір частинок твердої фази складає 245,2 мкм, але їх кількість незначна. Це можливо прослідкувати по величині мутності фільтрованого соку, яка становить 2,2 мг/л. Однією з причин збільшення розмірів твердих частинок у фільтраті є інкрустація та укрупнення їх за фільтрувальною перегородкою з подальшим «відриванням» у разі досягнення великих розмірів.

На контрольній фільтрації також спостерігається проходження за фільтрувальну тканину частинок осаду. Після контрольної фільтрації на фільтрувальній тканині мутність соку складає 2,0 мг/л, а розмір частинок 188,2 мкм. Отримані осади є глинистими, на що, у свою чергу, впливає і хімічний склад вапнякового каменю.

Таблиця 3

**Результати аналізу допоміжних матеріалів
та напівпродуктів на цукровому заводі Західного регіону України**

Назва	Середнє значення розміру частинок, мкм	Макс. значення розміру частинок, мкм	Мінім. значення розміру частинок, мкм	Найбільша кількість частинок з розміром, мкм	Мінім. значення розміру частинок більше 1%, мкм	Мутність, мг/л
Нефільтрований сік I карбонізації	43,5	127,1	4,2	66,1	16,7	4041,0
Декантат соку I карбонізації	23,9	42,8	4,2	32,1	13,4	7,2
Нефільтрований сік II карбонізації	36,9	95,0	11,6	42,8	11,6	2900,0
Фільтрований сік II карбонізації	245,2	350,0	196,6	262,0	182,3	2,2
Сік II карбонізації після контрольної фільтрації	188,2	350,0	61,5	350,0	71,1	2,0
Перліт, що використовує завод	32,0	169,6	2,0	53,2	8,7	-
Вапняне молоко	18,3	82,2	0,5	32,1	7,5	-

Вапняне молоко, що використовується на заводі, має розмір частинок в середньому 18,3 мкм, що відповідає м'якому режиму випалу вапняку [2].

Розмір частинок перліту, що використовується на заводі, в середньому складає 32,0 мкм.

Висновки. Таким чином, застосування сучасного методу лазерного дисперсного аналізу дозволяє досліджувати напівпродукти цукрового виробництва і допоміжні матеріали практично на всіх стадіях технологічного процесу очищення дифузійного соку. Це дає змогу значно поглибити і розширити спектр показників контролю технологічного процесу виробництва цукру з метою удосконалення чи оптимізації виробничих процесів та оптимального підбору фільтрувальних тканин, що будуть найкраще відповідати поставленим вимогам.

Бібліографія

1. SALD-201V Laser Diffraction Particle Size Analyzer. <https://www.shimadzu.com/an/powder/sald201v/201v.html>.
2. Гусарук Т. С. Технологічна оптимізація якості вапняного молока для підвищення ефекту очищення дифузійного соку : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук за спец. 05.18.05 “Технологія цукристих речовин та продуктів бродіння”. Київ. 2008. 22 с.
3. Структура частиц осадка I сатурации. 2017. <http://agro-portal24.ru/tehnologiya-sahara/6838-struktura-chastits-osadka-i-saturacii.html>.
4. Голыбин В. А., Голова К. В. Использование фильтроперлита при проведении карбонизации сока в сахарном производстве. Вестник ВГУИТ. 2013. №4. Р. 216–218. <http://10.20914/2310-1202-2013-4-216-218>.
5. Содержание суспендированных веществ в сиропе с клеровкой. 2017. <http://agro-portal24.ru/tehnologiya-sahara/6919-soderzhanie-suspendirovannyh-veschestv-v-sirope-s-klerovkoy.html>.
6. ПУП 15.83 37-106:2007. Правила ведення технологічного процесу виробництва цукру з цукрових буряків. ТОВ «Інформаційно-аналітичний центр «Цукор України». Київ, 2007. 420 с.

References

1. SALD-201V Laser Diffraction Particle Size Analyzer. <https://www.shimadzu.com/an/powder/sald201v/201v.html>.
2. Husaruk T. S. (2008) Tekhnolohichna optymizatsiia yakosti vapnianoho moloka dlia pidvyshchennia efektu ochyshchennia dyfuziinoho soku : avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand. tekhn. nauk za spets. 05.18.05 “Tekhnolohiia tsukrystykh rehovyn ta produktiv brodinna” [Technological optimization of the quality of lime milk to enhance the effect of purification of diffusion juice: abstract. diss. for the sciences. degree of Cand. tech. Science Specialist 05.18.05 “Technology of sugary substances and fermentation products”]. Kyiv: NUFT, 22 p. [inUkrainian]
3. Struktura chastits osadka I saturatsii [The structure of particles of sediment I saturation]. (2017). <http://agro-portal24.ru/tehnologiya-sahara/6838-struktura-chastits-osadka-i-saturacii.html> [in Russian]
4. Golyibin V. A., Golova K. V. (2013) Ispolzovanie filtropirlita pri provedenii karbonizatsii soka v saharnom proizvodstve. [The use of filter perlite during juice carbonization in sugar production] Vestnik VGUIT [Bulletin of VGUIT]. №4. P. 216–218. <http://10.20914/2310-1202-2013-4-216-218> [in Russian]
5. Soderzhanie suspendirovannyh veschestv v sirope s klerovkoy [Suspended Substances in Cleansing Syrup]. (2017). <http://agro-portal24.ru/tehnologiya-sahara/6919-soderzhanie-suspendirovannyh-veschestv-v-sirope-s-klerovkoy.html> [in Russian]
6. PUP 15.83 37-106:2007 Pravyla vedennia tekhnolohichnoho protsesu vyrobnytstva tsukru z tsukrovyykh buriakiv [The rules for the technological process of virobnytvuc zukru zukrovih buryakiv]. TOV «Informatsiino-analitychnyi tsentr «Tsukor Ukrainy» [Sugar Ukraine Information and Analytical Center LLC]. Kyiv, 2007. 420 p.