

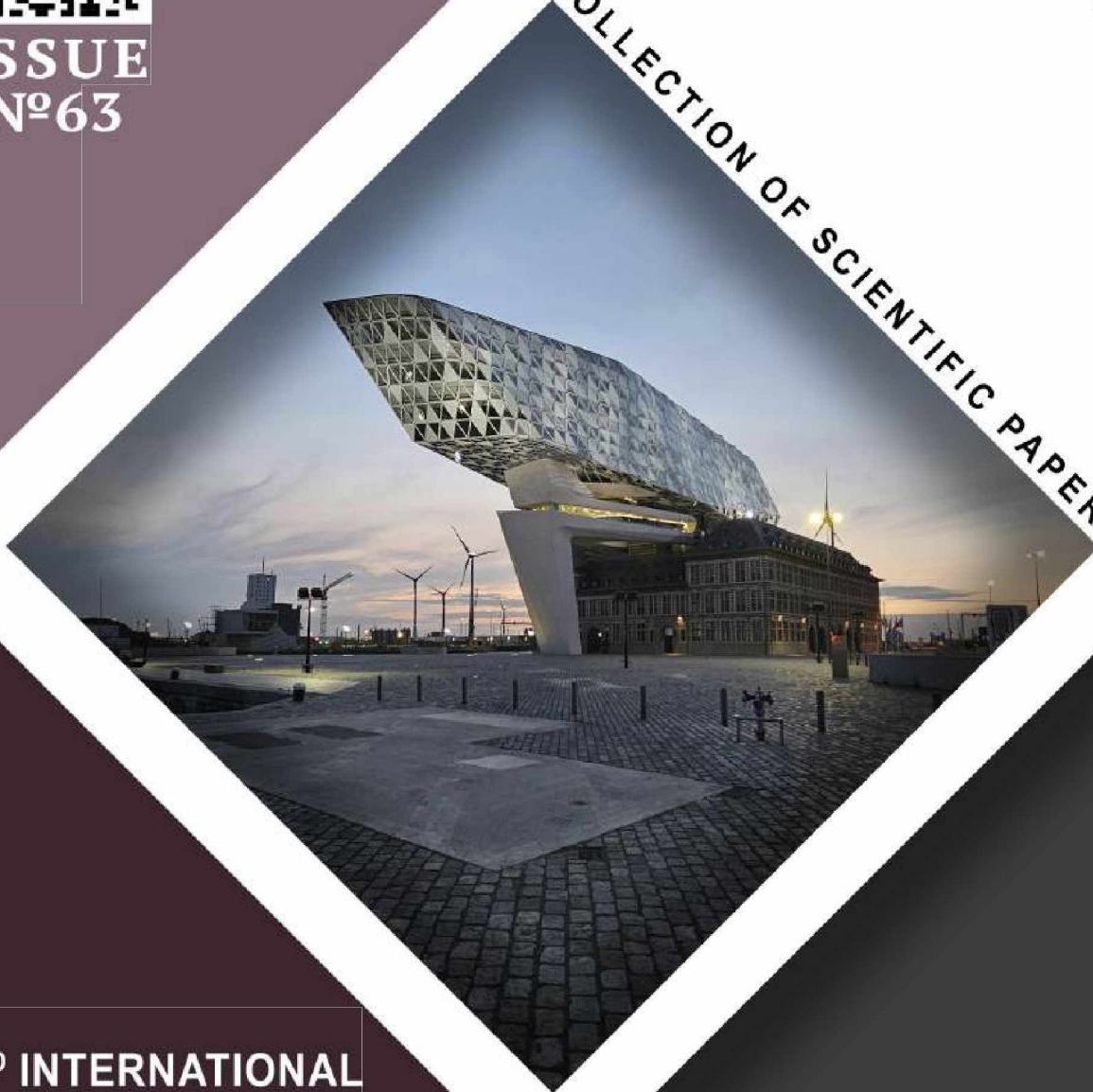


ISSUE  
N°63



EUROPEAN OPEN  
SCIENCE SPACE

COLLECTION OF SCIENTIFIC PAPERS



3<sup>RD</sup> INTERNATIONAL  
SCIENTIFIC  
AND PRACTICAL  
CONFERENCE

INNOVATIONS IN  
SCIENCE: FROM  
THEORETICAL  
FOUNDATIONS TO  
PRACTICAL IMPACT

NOVEMBER 24-26, 2025. ANTWERP, BELGIUM





**EUROPEAN OPEN  
SCIENCE SPACE**

---

Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Scientific  
and Practical Conference  
**"Innovations in Science: From Theoretical  
Foundations to Practical Impact"**  
November 24-26, 2025  
Antwerp, Belgium

**Collection of Scientific Papers**

**Antwerp, 2025**

## АНАЛІЗ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОЛІВ СОКОСТРУЖКОВОЇ СУМІШІ В ПРОМИСЛОВИХ ЕКСТРАКТОРАХ

Люлька Дмитро

к.т.н., доцент

Пономаренко Віталій

д.т.н., доцент

Кафедра технологічного обладнання та  
комп'ютерних технологій проектування

Національний університет харчових технологій, Україна

**Анотація.** Проведено експериментальне дослідження температурних полів у двошнековому дифузійному апараті нахилоного типу DC-12. Застосування спеціально розробленого пристрою дозволило виявити суттєву нерівномірність нагрівання сокостружкової суміші, яка досягає понад 30°C у головній частині апарату, що негативно впливає процес екстрагування. Встановлено, що ключовою причиною цього є незадовільне радіальне перемішування, що спричинене конструкцією транспортної системи та специфічне нижнє розміщення парових камер. Це призводить до нерівномірності розподілу температур в апараті та утворення зон недогрівання, де активно розвиваються мікроорганізми та інвертаза, що пропорційно збільшує невраховані втрати сахарози.

**Ключові слова:** цукровий завод, дифузійний апарат, транспортна система, шнек, екстрагування, температурне поле.

**Вступ.** Дифузійні апарати нахилоного типу різних модифікацій і типорозмірів отримали широке розповсюдження в Україні та за кордоном. Їх перевагою є те, що нагрівання бурякової стружки і процес екстрагування проводиться в одному апараті, а це знижує вартість обладнання. Проте нагрівання стружки до оптимальної температури, а отже і екстрагування сахарози в таких апаратах проходить повільно. Значну частину апарата займає зона низьких температур, де виникають сприятливі умови для розвитку мікроорганізмів та інвертази, що є суттєвим технологічним недоліком.

В дифузійних апаратах нахилоного типу розподіл температурних полів по робочих об'ємах має свої закономірності. В технологічних регламентах і режимних картах заводів-виготовлювачів наводяться величини температур, яких необхідно дотримуватися в різних зонах по довжині апаратів. В промислових екстракторах ці температури вимірюють в характерних точках. Проте місця встановлення відповідних температурних датчиків не завжди точно відображають реальне температурне поле. Для усунення цього недоліку існує ряд пропозицій.

В екстракторах нахилоного типу при переміщенні стружки транспортуючими шнеками вздовж апарата поступово відбувається її нагрівання до оптимальної температури екстрагування (72...74°C) за рахунок підведення

тепла через стінки парових камер. При цьому швидко скоагульований білок залишається в клітинах стружки і не переходить в дифузійний сік, що приводить до інтенсифікації процесу екстрагування. Активність мікроорганізмів та інвертази значно знижується, що зменшує невраховані втрати сахарози. В хвостовій частині апарату відбувається зниження її температури до 65°C.

При підвищенні продуктивності апаратів вище номінальної рекомендується збільшувати температуру в середній частині дифузійного апарату на 2...3 °C. При цьому час перебування стружки в апараті зменшується і підвищення температури не погіршує технологічні показники процесу.

При переробці буряків погіршеної якості рекомендується знижений температурний режим для запобігання погіршення якості дифузійного соку і покращення транспортування стружки шнеками.

Однак у промислових екстракторах це забезпечити складно. Наприклад, у апаратів типу DdS, C-17, DC — транспортні системи виконані у вигляді двох паралельних стрічкових шнеків з концентричних полів. У екстракторів типу ПДС — ці транспортуючі шнеки виконані у вигляді перфорованих лопатей, що утворюють трьохзаходні шнеки.

Для запобігання рециркуляції бурякової стружки та її обертання разом зі шнеками в апаратах типу DdS та DC встановлено на днищі повздовжні направляючі ребра, а в апаратах типу ПДС — поперечні контрлопаті.

Крім того, різні марки екстракторів згідно рекомендацій заводів-виготовлювачів встановлюються під різними кутами до горизонту (від 8° до 11°).

Та не дивлячись на всі ці відмінності в апаратах не забезпечується дотримання оптимальної температури екстрагування.

Відхилення температурних режимів роботи дифузійних апаратів нахилоного типу з різними транспортними системами та типорозмірами зумовлені особливостями їх конструкцій, а саме: а) передачею тепла через стінки корпусу від парових камер, які охоплюють лише частину перерізу, що призводить до нерівномірного розподілу температур сокостружкової суміші по поперечному перерізі апарата; б) тепло підводиться по всій довжині апарату; в) зі збільшенням продуктивності екстракторів співвідношення площі поверхні грюючих камер до робочого об'єму апарату зменшується, суттєво погіршуючи при цьому умови теплової обробки бурякової стружки.

Розподіл температур сокостружкової суміші потребує детального вивчення, оскільки усереднені значення температури по поперечному перерізі апарата і по його довжині суттєво відрізняються від реальних температурних полів в екстракторі, що знижує ефективність екстрагування сахарози.

**Мета та задачі дослідження.** Метою дослідження є встановлення температурних полів в дифузійному апараті нахилоного типу DC-12 в виробничих умовах.

Розробити пристрій для відбору проб сокостружкової суміші. Визначити та обґрунтувати місця відбору проб.

**Результати дослідження та їх обговорення.** В цукровій промисловості України найпоширенішими дифузійними апаратами нахилоного типу є екстрактори ДС різної продуктивності від 1700 т до 3000 т переробки буряків на добу.

В цих апаратах температурні датчики встановлені в безпосередній близькості до стінок апарата в умовах нерівномірного розподілу температур по поперечному перерізу потоку точково вимірюють температуру. Показники цих датчиків не відображають нерівномірність розподілу температур в екстракторі і їх покази не є надійною основою для визначення теплообмінних характеристик апаратів.

Вивчення теплообміну в екстракторах нахилоного типу ДС-12 проводились під час виробничих сезонів цукроваріння в різні роки. Для цього нами було розроблено спеціальний пристрій для відбору проб (рис. 1).

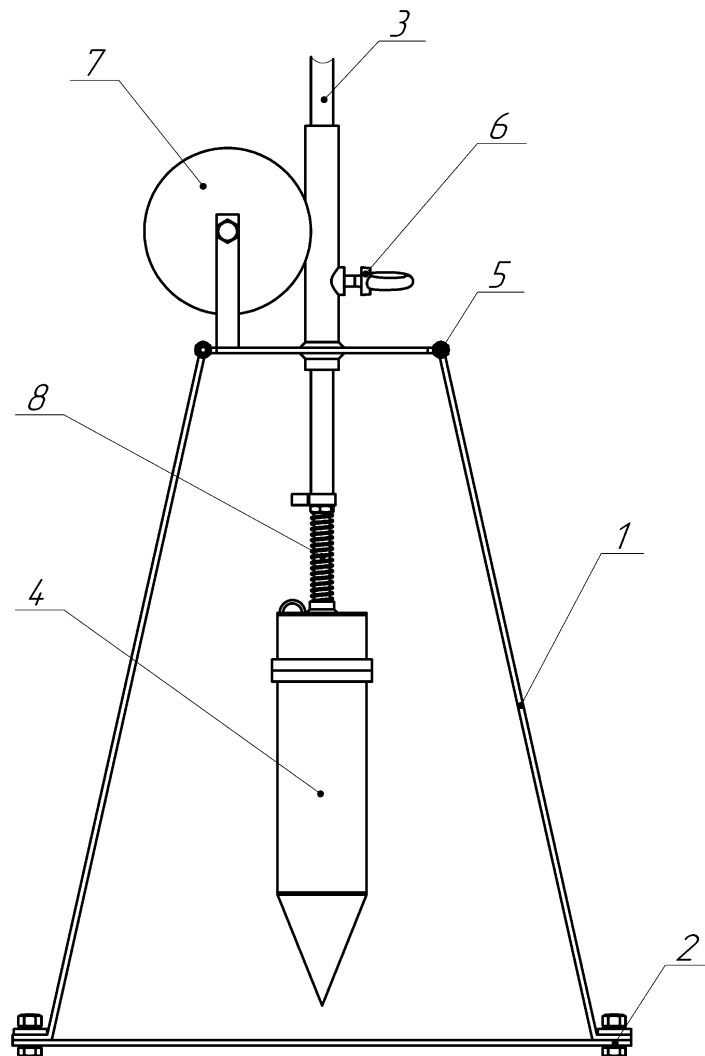


Рисунок 1. Пристрій для відбору проб сокостружкової суміші

Пристрій для відбору проб сокостружкової суміші та вимірювання її температури складається з корпусу 1 з кронштейнами 2, штанги 3 з вимірювальною ємністю 4. Корпус вимірювального пристрою був виконаний на шарнірах 5 таким чином, щоб його можна було розмістити над оглядовими люками в кожному з вимірювальних перерізів по правій та лівій стороні

дифузійного апарата. В місцях відбору проб пристрій закріплювався за допомогою фіксаторів 2. Циліндрична роз'ємна ємність складається з нижньої частини з конічним днищем та кришки. Конічна форма днища виконана для полегшення занурювання вимірювальної ємності в сокостружкову суміш.

Перевагою пристрою такого типу є те, що вимірювання температури можна проводити в будь-якій точці поперечного перерізу на різних типорозмірах дифузійних апаратів нахиленого типу.

Відбір проб та дослідження температури сокостружкової суміші проводили наступним чином. Штанга з вимірювальною ємністю опускалася на задану глибину в зону вимірювання. Положення штанги визначалося спеціальною проградуєваною лінійкою, яку прикріплено до неї. У вимірювальній зоні положення фіксувалося за допомогою притискного гвинта 6.

Далі за допомогою котушки з тросом 7 пересиливши дію пружини 8 відкривали ємність і набирали порцію сокостружкової суміші. Витримували вимірювальну ємність в зоні дослідження протягом 1 хв. для вирівнювання температур.

Після цього відпустивши нитку пружина закривала вимірювальну ємність. Її піднімали із сокостружкової суміші і за допомогою лабораторного термометра вимірювали температуру. В кожному поперечному перерізі проводили вісім вимірювань температури.

Важливою задачею є встановлення та обґрунтування місць вимірювань температури сокостружкової суміші.

Виходячи з багаторічного досвіду експлуатації дифузійних апаратів нахиленого типу та пілотних досліджень вимірювальні точки вибирали наступним чином.

По довжині апарата (рис. 2) вимірювання проводили в п'ятьох перерізах в зонах переходу з однієї секції транспортуючого шнеку в іншу при усталеному режимі роботи з продуктивністю 120 т/год.

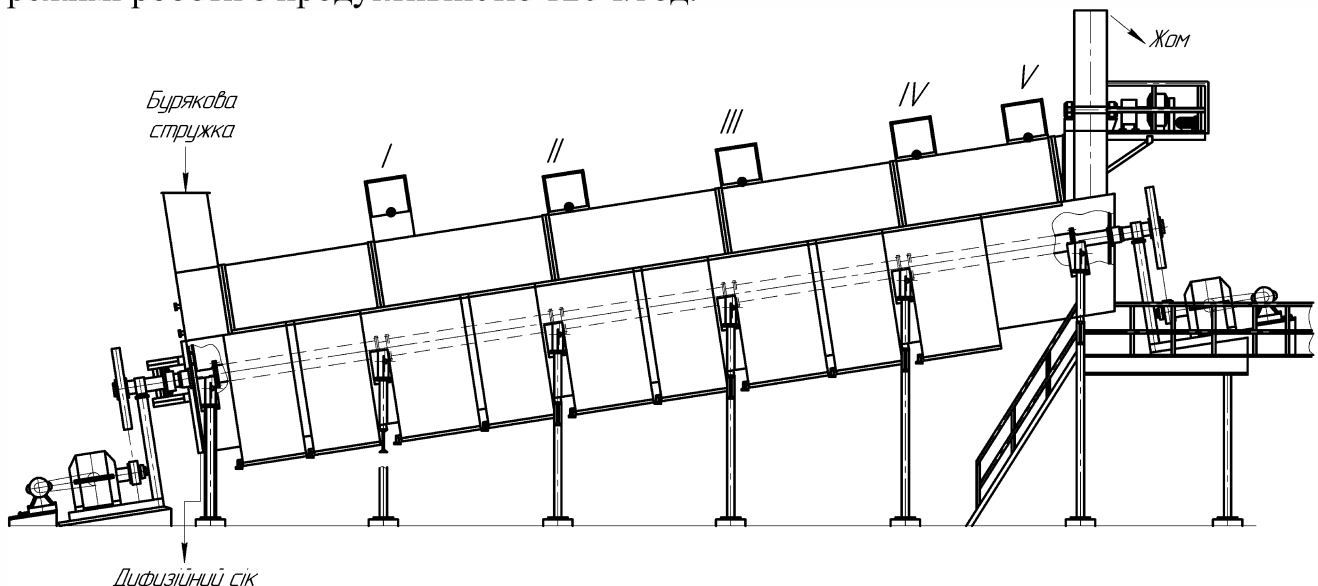


Рисунок 2. Місця вимірювання температур сокостружкової суміші по довжині апарата

Вимірювальні точки по поперечному перерізу екстрактора, вибирали таким чином:

- 1 та 5 — в нижній частині корпусу в зоні зовнішнього витка транспортуючих шнеків;
- 2 і 6 — на рівні осей шнеків на величину половини діаметру шнеків;
- 3 та 7 — у зоні стикування даху апарата з корпусом (глибина занурення 300 мм.);
- 4 і 8 — у нижній частині корпусу в зоні перекриття шнеків.

Встановлення пристрою для відбору проб і точки вимірювання температури по перерізу дифузійного апарату зображено на рис. 3.

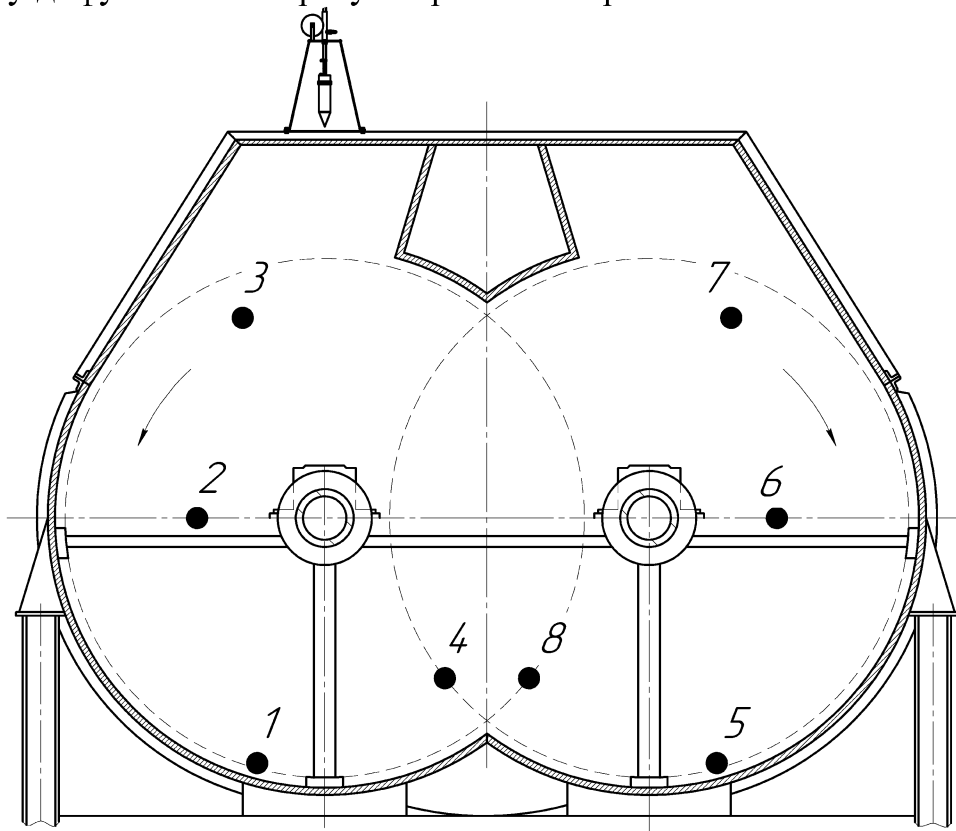
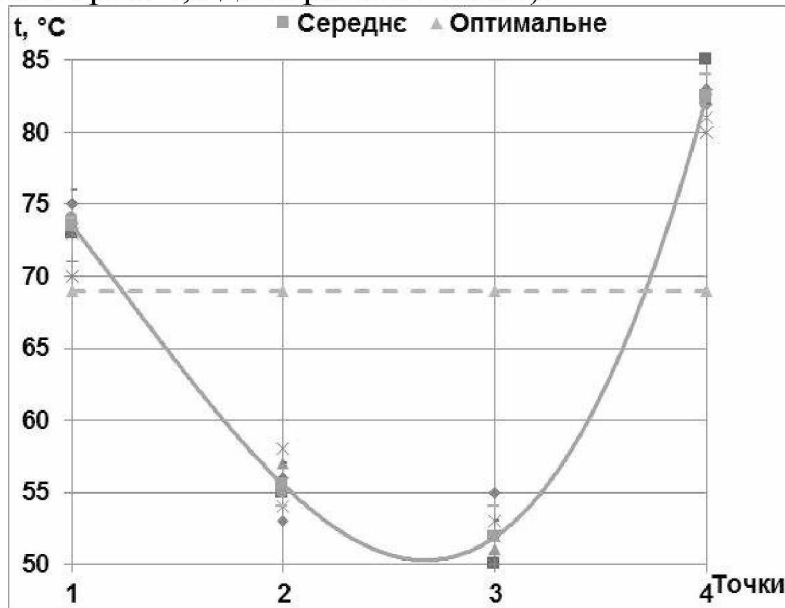


Рисунок 3. Точки вимірювання температур в кожному перерізі дифузійного апарата

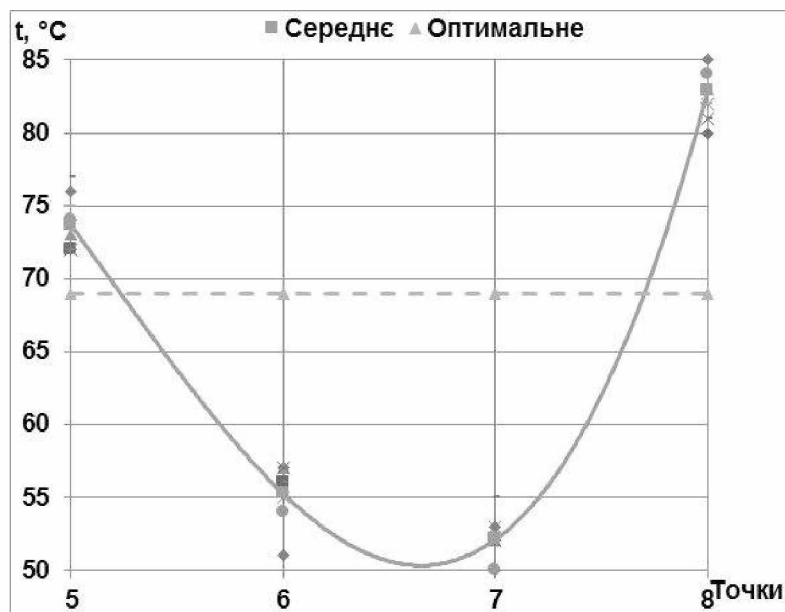
При монтажі транспортної системи секції шнеків встановлюються одна відносно іншої під певним кутом. Установка шнеків по правій та лівій стороні відрізняються одна від одної, тому можна очікувати, що гідродинаміка потоку теж відрізняється. Саме тому вимірювальні точки було вибрано таким чином, щоб перевірити вплив конструктивного виконання правого та лівого транспортуючих шнеків на зміну температури по поперечному перерізі екстрактора.

Характерною особливістю роботи апарату нахилоного типу в періоди дослідів було те, що практично по всій його довжині основна маса бурякової стружки не прогрівалася до оптимальної температури екстрагування.

В той же час зафіксовано дуже нерівномірний розподіл температури по поперечному перерізі апарата, особливо це помітно в перерізі I (початковій зоні) рис. 4. Різниця температури в цьому поперечному перерізі досягає  $30,7\text{ }^{\circ}\text{C}$  (рис. 4,а для лівого і рис. 4,б для правого шнеків).



а)



б)

Рисунок 4. Максимальна розбіжність температури по поперечному перерізі:  
а) для лівого транспоруючого шнеку; б) для правого шнека

Характер розподілу температури сокостружкової суміші в кожному перерізі апарата по зонах вимірювань зберігається.

В точках 2, 6, 3 і 7 стружка не досягає оптимального значення температури в цьому перерізі, а в точках 1, 5, 4 та 8 — вона перевищує оптимальну температуру. Завищене значення температури в точках 1 та 5 пояснюється тим,

що тут стружка наближена до стінок парової камери, в яку подається пара високого потенціалу. Пристінний шар сокостружкової суміші не перемішується з сусідніми шарами (точки 4 та 8). Цим пояснюється найвище значення температури по поперечному перерізі.

В наступних секціях екстрактора перепад температури по поперечному перерізі зменшується від 16,6°C в кінці другої секції до 6,7°C — в четвертій. Таким чином, лише в кінці другої секції дифузійного апарата досягається стабілізація температури сокостружкової суміші. Температура у всіх дослідних зонах перерізу вища 65°C, і як наслідок тут починається активна денатурація білків протоплазми клітин бурякової тканини.

В хвостовій частині екстрактора (V переріз) перепад температури складає 4°C. В цій зоні сокостружкова суміш охолоджується барометричною водою, що подається в апарат з температурою 58...62°C з метою зменшення теплових втрат з жомом.

Порівняння отриманих нами температурних полів апаратів DC-12, DdS-30 і A1-ПДС-20 дозволяє стверджувати, що їх конструкції не забезпечують проведення процесу екстрагування в оптимальному температурному режимі. В усіх екстракторах цього типу прогрівання стружки до температури екстрагування досягається лише в кінці другої зони.

Для забезпечення оптимальної температури екстрагування в двохшнекових дифузійних апаратах нахиленого типу спеціалістами були запропоновані різні удосконалення.

Додатково обладнували екстрактор теплообмінником подібним за конструкцією з дифузійним апаратом. Також був розроблений ошпарювач стружки паром і установки для підігріву бурякової стружки. Ще було запропоновано багатоступінчастий ошпарювач зрошувального типу.

Для збільшення поверхонь нагріву пропонувалося встановити додаткові парові камери, підводити тепло в пустотілі контропаті та транспортуючі шнеки.

В холодну пору року для інтенсифікації нагрівання стружки в екстракторах великої продуктивності використовували пристрої для безпосередньої інжекції пари в сокостружкову суміш, а також встановлювали додаткові циркуляційні контури.

Всі ці заходи частково допомагають зменшити нерівномірність в двохшнекових дифузійних апаратах нахиленого типу, але це додаткове обладнання ускладнює конструкцію екстракторів і призводить до підвищеного подрібнення стружки, а інжекція пари та додаткові циркуляційні контури знижують теплову економічну ефективність апаратів.

**Висновки.** Для дослідження розподілу температур в дифузійному апараті було розроблено універсальний пристрій для відбору проб сокостружкової суміші та вимірювання температури, що дозволяє застосовувати його для різних типів екстракторів.

Дослідження розподілу температур по поперечному перерізі підтвердило, що експлуатація дифузійних апаратів нахиленого типу, зокрема DC-12,

відбувається в неоптимальному тепловому режимі. Так, в першій зоні перепади температури сягають понад 30°C. Такі результати свідчать про значну нерівномірність температур сокостружкової суміші в першій зоні апарата, що спричинено конструктивними недоліками транспортних систем. Низькі температури стимулюють біологічне розкладання сахарози, що призводить до значних неврахованих втрат.

Встановлені в чотирьох точках по довжині апарата заводські датчики контролю не відображають реальну картину теплового режиму процесу екстрагування, що підтверджується дослідженнями температурних полів.

Проведені експериментальні вимірювання чітко ідентифікували двошнекові дифузійні апарати нахилоного типу як такі, які не забезпечують оптимальної температури сокостружкової суміші, що знижує інтенсивність екстрагування.

У подальшому буде проведено комплексне дослідження, яке включатиме CFD-моделювання модернізованих транспортних систем для прогнозування їхнього впливу на гідродинамічні та теплові поля.

### Список використаних джерел

1. Nagarajan, K., Renganathan, T., & Krishnaiah, K. (2016). Hydrodynamics of a continuous countercurrent liquid-solid system: experiments and modeling. *RSC Advances*, 6(42), 35486-35497.
2. Dyachok, V., Dyachok, R., Gaiduchok, O., & Ilkiv, N. (2015). Mathematical model of mass transfer from Lamina of the leaf into extractant. *Chemistry & chemical technology*, (9, № 1), 107-110.
3. Люлька, Д.М. (2014). Розроблення конструкцій транспортних систем дифузійних апаратів з метою інтенсифікації процесу екстрагування: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.12 «Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв» / Д.М. Люлька; Національний університет харчових технологій. Київ. 24 с.
4. Kulneva, N. & Korobova, L. & Matytsina, I. & Matvienko, N. & Chernyaeva, S. (2025). Intensification of the process of extraction of sucrose from sugar beet of different technological advantage. *BIO Web of Conferences*. 161. 10.1051/bioconf/202516100024.
5. Букатко, В. (2016). Особливості температурного режиму в дифузійних апаратах нахилоного типу DC-12 / В. Букатко, Д. Люлька // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: матеріали 82-ї Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів. Київ: НУХТ. Ч. 2. 89.
6. Grabowski, P. R., Zbicinski, I., & Jaskulski, J. (2010). Multi-criteria energy optimization of sugar factory. *Chemical Engineering Science*, 65(1), 4141-4148.
7. Патент 122189 UA, C13K 1/00, C13K 3/00 (2017). Дифузійний апарат нахилоного типу / Л.М. Апілат, В.В. Пономаренко, М.М. Пушанко, Д.М. Люлька; НУХТ.
8. Mostoufi, N., & Mostoufi, A. (2010). Dynamic modelling of the sugar extraction process from sugar beet. *Food Manufacturing Efficiency*, 3(1), 49-56.

9. Прозор, Р.С. (2016). Температурний режим та вміст сухих речовин в дифузійних апаратах нахилоного типу / Р.С. Прозор, М.М. Пушанко, Д.М. Люлька // Удосконалення процесів і обладнання — запорука інноваційного розвитку харчової промисловості: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції присвяченої 65-річчю кафедри процесів і апаратів харчових виробництв НУХТ. Київ: НУХТ. 232-233.
10. Optimizing Established Processes like Sugar Extraction from Sugar Beets - Design of Experiments versus Physicochemical Modeling. (2013). Chemical Engineering & Technology, 36(12), 2125-2136.
11. Люлька, Д.М. (2016). Удосконалення дифузійного апарату нахилоного типу / Д.М. Люлька, Л.М. Апілат // Вісник Харківського Національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка випуск 179 «Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв». Харків: ХНТУСГ ім. П. Василенка. 259-264.
12. Nabil, G., Houcine, M., & Eugene, V. (2011). Rheological characterization of sugar beet pulp suspensions for mechanical dewatering processes. Industrial Crops and Products, 33(1), 223-228.