

УДК 664.1.038

*Л.М. Хомічак, д.т.н., професор, член-кореспондент НААН*

*С.В. Ткаченко, канд. техн. наук,*

*Т.В. Шейко, канд. техн. наук,*

*Інститут продовольчих ресурсів НААН України*

*В.М. Титарчук, головний технолог*

*ТОВ «Радехівський цукор» чортківське відділення*

## **ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ ФІЛЬТРУВАННЯ НАПІВПРОДУКТІВ ЦУКРОВОГО ВИРОБНИЦТВА**

*У статті представлені основні фактори, що впливають на розділення суспензій карбонізаційних соків, серед яких: швидкість фільтрування, фізико-хімічні властивості осаду і характеристики фільтраційної перегородки.*

*Наведено способи підвищення продуктивності фільтрів шляхом застосування різноманітних технологічних операцій направлених на зменшення ступеня “загорання” фільтрувальної тканини та укрупнення частинок карбонізаційного осаду.*

*Приведено конструкцію та принцип роботи портативного пристрою для визначення швидкості фільтрування суспензій карбонізаційних соків під тиском у потоці. Представлені результати випробувань пристрою в умовах цукрового заводу.*

*Досліджено можливість визначення швидкості фільтрування під тиском сиропу та наведено експериментальні дані щодо впливу флокулянту на його фільтраційну здатність.*

*Ключові слова:* суспензія карбонізаційного соку, ступінь «загорання», питома поверхня, перекарбонізація, швидкість фільтрування під тиском.

*L.M. Khomichak, D. Sc. Technics, Prof., Corresponding member of NAAS*

*S.V. Tkachenko, Ph. D. Technics*

*T.V. Sheyko, Ph. D. Technics*

*The Institute of Food Resources of NAAS*

*V.M. Titarchuk, Senior Manufacturing Engineer,*

*Chortkivsky division of TOV “Radekhvivskii tsukor”*

## **DETERMINATION OF FILTRATION RATE OF SUGAR SEMI-FINISHED PRODUCTS**

*The article presents the main factors affecting the separation of suspensions of carbonated juices, such as: speed of filtration, physical and chemical properties of the sediment, and the characteristics of the filter septum.*

*There are ways of increasing the efficiency of filtering equipment by using various technological operations aimed at reducing the degree of incrustation of the filter cloth and the consolidation of carbonation sediment particles.*

*The design and principle of operation of the portable device to determine the filtration rate of suspensions carbonated juices under pressure in the flow. Device test results are presented in a sugar factory.*

*The possibility of determining the rate of pressure filtration of syrup, and the experimental data on the effect of flocculant to its filtration capacity.*

*Keywords:* suspension thin juice, the degree of incrustation, the specific surface overcarbonization, pressure filtration speed.

*Л.М. Хомичак, д-р. техн. наук, проф., член-кореспондент НААН*

*С.В. Ткаченко, канд. техн. наук*

*Т.В. Шейко, канд. техн. наук*

Институт продовольственных ресурсов НААН

*В.Н. Тытарчук, ведущий технолог*

ООО «Радеховский сахар» чортковское отделение

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ФИЛЬТРОВАНИЯ ПОЛУПРОДУКТОВ САХАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

*В статье представлены основные факторы, влияющие на разделение суспензий сатурационных соков, среди которых: скорость фильтрации, физико-химические свойства осадка и характеристики фильтрационной перегородки.*

*Приведены способы повышения производительности фильтровального оборудования путем применения различных технологических операций направленных на уменьшение степени "возгорания" фильтровальной ткани и укрупнение частиц сатурационного осадка.*

*Приведены конструкции и принцип работы портативного устройства для определения скорости фильтрации суспензий сатурационных соков под давлением в потоке. Представлены результаты испытаний устройства в условиях сахарного завода.*

*Исследована возможность определения скорости фильтрации под давлением сиропа и приведены экспериментальные данные о влиянии флокулянта на его фильтрационную способность.*

***Ключевые слова:** суспензия сатурационного сока, инкрустация, удельная поверхность, пересатурация, скорость фильтрации под давлением.*

Будь яке порушення нормальної роботи фільтрувальної станції призводить до ускладнень роботи всього цукрового заводу, зниження його продуктивності, зростання втрат цукру і погіршення його якості. Тому седиментаційно-фільтраційні властивості осадів карбонізаційних соків і сиропів та їх об'єктивне визначення є необхідною умовою нормальної роботи всього цукрового заводу.

В цукровому виробництві для відділення осадів застосовуються фільтраційні установки, в котрих у якості фільтраційної перегородки застосовується тканина, як правило синтетична. При цьому продуктивність фільтрів залежить від швидкості фільтрування, фізико-хімічних властивостей осаду і характеристик фільтраційної перегородки [1, 2].

Визначальним параметром вказаних властивостей є питомий опір карбонізованих осадів і питомий опір фільтраційної перегородки. Питомий опір за фільтрації осаду залежить від його фізико-хімічних властивостей (дисперсності і рівномірності, здатності до стискання твердої фази та її гідрофільності), а питомий опір фільтраційної тканини залежить в першу чергу від її пористості і ступеня «загорання», що призводить до зменшення величини пор.

Під час першої карбонізації за перероблення кондиційних буряків утворюються частинки карбонату кальцію розміром 15...20 мкм. З надходженням в перероблення сировини низької якості змінюється дисперсність частинок карбонізаційного осаду (як правило, підвищується), що зумовлює зниження швидкості їх осадження. Більшість частинок карбонату кальцію агрегують між собою і з частинками осаджених на попередньому вапнуванні (ПВ) нецукрів. Утворені агрегати, залежно від їх міцності, ведуть себе в процесі фільтрування як окремі частинки або драглеподібні утворення, що деформуються під дією тисків.

Для суспензій, що складається із частинок різного розміру (полідисперсних частинок і частинок неправильної форми) досить складно оцінити середній розмір. В цьому випадку замість розміру частинок **використовують величину питомої поверхні**. Питома поверхня частинок осаду соку першої карбонізації складає 2,30...2,54 м<sup>2</sup>/г (за рН<sub>20</sub> соку 10,82...10,90).

У випадку додавання флокулянта вона знижується у 1,5...4,0 рази за рахунок агрегації окремих частинок.

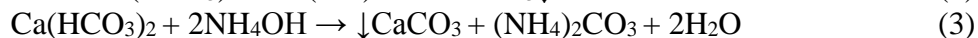
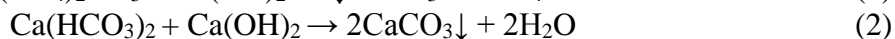
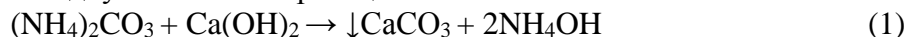
**Способи укрупнення частинок осаду.** В цукробуряковому виробництві розроблено цілий ряд заходів, направлених на укрупнення частинок осаду. Основними з них є:

- ефективне проведення прогресивного попереднього вапнування;
- рециркуляція нефільтрованого соку чи суспензії I карбонізації на ПВ;
- рециркуляція соку в карбонізаторах;
- одночасна вапнокарбонізація;
- використання флокулянтів;
- перекарбонізація соку I карбонізації.

Включення в схему того або іншого способу залежить від того, на що направлено вирішення задачі – на покращання фільтраційної здатності соку чи його якісних показників і визначається в першу чергу якістю буряків. Але з технологічної точки зору всі способи укрупнення частинок осаду є небажаними, тому що вони зумовлюють до погіршення якості соку, додатковому розкладу цукрози і додаткових витрат вапна.

Основною складовою осаду, що відкладаються на тканині фільтрів I та II карбонізації, є  $\text{CaCO}_3$ . Через складну суміш нецукрів у заводських соках карбонат кальцію утворює пересичені розчини, з яких він викристалізовується на фільтрах. Одним з ефективних способів зняття такого пересичення до фільтрів є правильне проведення ПВ, організація рециркуляційних контурів в карбонізаторах і застосування відстійників-дозрівачів соку II карбонізації.

Другою причиною “загорання” тканин є застосування для промивання осаду води, що містить велику кількість вуглекислого амонію або розчинних бікарбонатів. В такому разі в процесі фільтрування відбуваються такі реакції:



Свіжоутворений  $\text{CaCO}_3$  кристалізується на волокнах тканини, величина пор зменшується, що різко погіршує фільтрування. У зв'язку з цим бажано аміачну воду деамонізувати, або ж для зменшення в ній вмісту аміаку вивести аміачні витяжки в атмосферу. Звідси висновок – в аміачній воді бажано контролювати вміст аміаку (за допомогою реактиву Несслера) навіть якщо ця вода і не використовується для живлення дифузії (що також неправильно).

На фільтрах II карбонізації сильне “загорання” може бути і за додавання соди в контрольний ящик II карбонізації, яка знімає пересичення  $\text{CaCO}_3$ . Тому соду краще додавати до II карбонізації (особливо при прямому фільтруванні соку без відстійника).

Перекарбонізація є досить ефективним заходом покращання седиментаційних і фільтраційних властивостей осаду соку I карбонізації, що досягається за рахунок дегідратації органічної складової осаду та ущільнення агломератів. Згідно даних Я. Добжицького зниження рН від оптимального 11,0 до 9,7 призводить до зростання швидкості фільтрування соку більше ніж у 2,5 рази. Варто відмітити, що для практики роботи цукрових заводів дуже важливим є підвищення фільтрувальних властивостей осаду, досягнуте шляхом перекарбонізації соку, після наступного підвищення рН соку до 11,0 для покращення якості соку. Як засіб для покращення фільтраційних властивостей прийом перекарбонізації використовується в карбонізаторах, обладнаних внутрішньою циркуляційною трубою і вставкою карбонізатора-розподільника. Наявність останнього забезпечує ефект так званої “маятникової” карбонізації. Суть її полягає в миттєвій перекарбонізації і наступному підвищенні лужності соку [3]. За рахунок “маятникового” процесу карбонізації сік багаторазово проходить стадію рН 10,2...10,5 і 11,9, що сприяє як покращенню фільтраційних властивостей осаду (миттєва дегідратація завдяки перекарбонізації), так і підвищенню ефекту адсорбційного очищення.

**Якість сировини, що надходить на перероблення.** Чим вищий вміст в осаді речовин, що знаходяться у кристалічному стані, тим кращі фільтраційні властивості. Як відомо, у карбонізаційному осаді в кристалічному стані містяться карбонат кальцію і солі кальцію з аніонами кислот. Разом з тим в осаді є значний вміст коагуляту речовин колоїдної дисперсності, тобто органічна частина осаду.

Коагулят як правило має желеподібну структуру, що призводить до закупорювання отворів у фільтраційній перегородці, а за значної кількості коагуляту фільтрування практично припиняється. Як правило, органічна частина в загальній масі сухих речовин осаду соку I карбонізації складає 15...20%. А щоб забезпечити добрі седиментаційно-фільтраційні властивості осаду соку I карбонізації, співвідношення органічної складової до мінеральної повинно складати 1:6...1:8.

Під дією пектолітичних ферментів, що продукуються деякими пліснями за зберігання буряків, має місце розчинення і гідроліз макромолекул протопектину з утворенням низькомолекулярних розчинних пектинових речовин, які переходять в дифузійний сік і не повністю видаляються в процесах вапняно-вуглекислотного очищення, значно погіршуючи фільтраційні властивості осаду.

Лужне перетворення 0,25% інвертного цукру під час вапняного оброблення дифузійного соку в умовах основної дефекації сприяє не тільки підвищенню забарвленості і вмісту розчинних солей кальцію, але й спричиняє погіршення фільтраційного коефіцієнта  $F_k$  на 30%, а 0,5% – на 70%.

Підвищення температури (>72...74°C) і рН води (>6,5) в процесі екстракції цукрози із бурякової стружки сприяє розчиненню протопектина і його гідролізу з переходом більшої кількості пектину в розчин, що зменшує швидкість фільтрування карбонізованого соку.

Навіть за нормативного вмісту зеленої маси у відмитих буряках на рівні 3% до кількості буряків має місце перехід в розчин підвищеної кількості пектину в екстракторі із зниженням чистоти дифузійного соку на 2,0% з одночасним погіршенням фільтраційних показників соків. А 1% не відмиті від коренеплодів землі зменшує швидкість фільтрування на 5%. За вмісту мезги у дифузійному соку 10 г/л (замість нормативного 1,0 г/л) швидкість фільтрування зменшується майже на 40%.

Повернення нефільтрованого соку I карбонізації в кількості хоча б 40...50% сприяє дегідратації утвореного на I карбонізації осаду за рахунок його перекарбонізації кислотами дифузійного соку під час введення на ПВ в зони з рН однозначно меншими за 10,8. За рахунок цього покращується фільтраційна здатність утвореного потім соку I карбонізації, хоча частково погіршується його якість. Повернення ж уже профільтрованого один раз осаду у вигляді суспензії не змінює при цьому дегідратацію осаду в нефільтрованому соку I карбонізації.

**Застосування додаткових реагентів для максимального укрупнення осадів.** Осад I карбонізації містить адсорбовані нецукри, які з часом можуть переходити в розчин, погіршуючи його якість. Зв'язано це в першу чергу зі зниженням адсорбційної здатності частинок  $\text{CaCO}_3$ , котра через 40 хв знижується вдвічі. Тому осад потрібно якомога скоріше відділити від соку.

Для прискорення процесів седиментації і фільтрації застосовують флокулянти, котрі сприяють укрупненню частинок осаду. Застосування флокулянтів залежить і від схеми очищення, але основне правило – утворені агрегати нестійкі, тому введення флокулянтів у сік необхідно проводити якомога ближче до моменту відділення осаду від соку. У результаті лабораторних досліджень [4] встановлено, що використання флокулянту MAGNAFLOK LT-27 під час проведення попередньої ступеневої прогресивної вапнокарбонізації в середньому збільшує швидкість відстоювання соку на 25,0% і зменшує фільтраційний коефіцієнт майже в 2 рази.

Окрім вищенаведених факторів для нормальної роботи фільтрувальної станції цукрового заводу та об'єктивної оцінки навантаження на фільтрувальну поверхню, а також оцінки ефективності дії на фільтраційну здатність напівпродуктів цукрового виробництва

тих чи інших хімічних реагентів та флокулянтів велике практичне значення має **оперативне визначення фільтраційних властивостей осадів карбонізаційних соків**.

Сьогодні на цукрових заводах фільтраційну здатність осадів карбонізаційних соків характеризують за допомогою фільтраційного коефіцієнту ( $F_k$ ), хоча на більшості заводів навіть ця умова не виконується. Із впровадженням фільтр-згущувачів нової конструкції та фільтр-пресів [5], тобто обладнання, що працює під тиском, необхідність вимірювання  $F_k$  відпадає. Оскільки цією величиною можливо було б оперувати за використання для фільтрування суспензій карбонізаційних соків безперервних вакуум фільтрів.

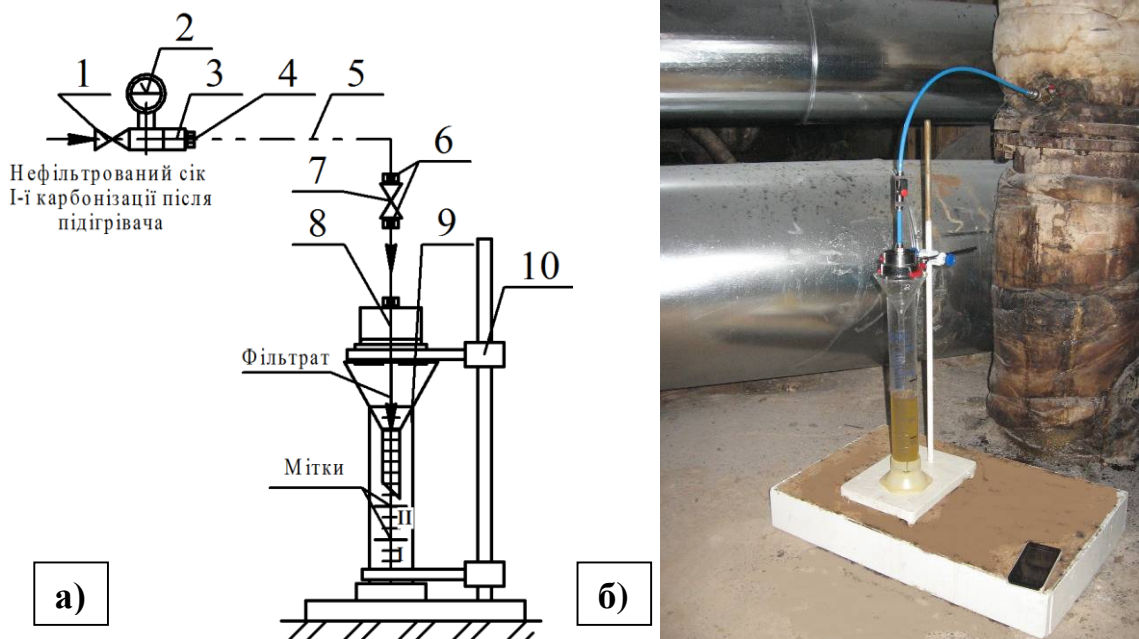
Для фільтрувального обладнання, що працює під тиском об'єктивною характеристикою фільтраційної здатності суспензії соку I карбонізації є швидкість фільтрування під тиском ( $W$ ).

Авторами [2, 6] неодноразово було теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено невідповідність показників  $F_k$  та  $W$ . Так за граничного значення  $F_k$ , що унеможливило використання фільтрувального обладнання, показник швидкості фільтрування під тиском свідчить про задовільні фільтраційні властивості карбонізаційних соків [6].

В умовах виробництва цукрового заводу є необхідним оперативний контроль швидкості фільтрування безпосередньо під час процесу, оскільки від цього буде залежати оцінка ефективності фільтрування та прийняття подальших технологічних рішень.

Ми розробили конструкцію портативного пристрою для вимірювання швидкості фільтрування під тиском суспензії соку I карбонізації у потоці.

На рис. 1 (а) схематично наведено запропонований пристрій, що містить: вентиль (1); манометр (2); штуцер (3); фітинги (4, 6); трубку (5); запірний кран (7); фільтр (8); мірний циліндр з мітками (9); штатив (10).



**Рис. 1. – Схема пристрою для визначення швидкості фільтрування карбонізаційних соків під тиском у потоці: а) – схема пристрою; б) – фотознімок підключення пристрою до трубопроводу в умовах виробництва**

Пристрій працює наступним чином. Фільтр (8) через штуцер і систему фітингів та трубок підключається до комунікації трубопроводу соку, що йде на фільтрування після підігрівача. Фільтр (8) встановлюють на лабораторному штативі (10), а під ним розміщують мірний циліндр з мітками (9). Фільтр (8) необхідно розмістити таким чином, щоб уникнути розбризкування фільтрату поза межі мірного циліндра (9). Після цього відкривають вентиль (1) і кран подачі соку (7) на фільтр (8). Фільтрат збирають у мірний циліндр (9). За

секундоміром зазначають час, протягом якого фільтрований сік пройде між першою та другою міткою на циліндрі.

Швидкість фільтрування визначається за формулою :

$$v_{\text{ФІЛ}} = \frac{7,64}{t}, \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$$

де t – час протягом якого фільтрований сік пройде між першою та другою рисою на циліндрі, хв;

Було проведено вимірювання швидкості фільтрування під тиском соку І карбонізації у потоці з використанням спеціально розробленого пристрою в умовах ТзОВ «Радехівський цукор» чортківське відділення.

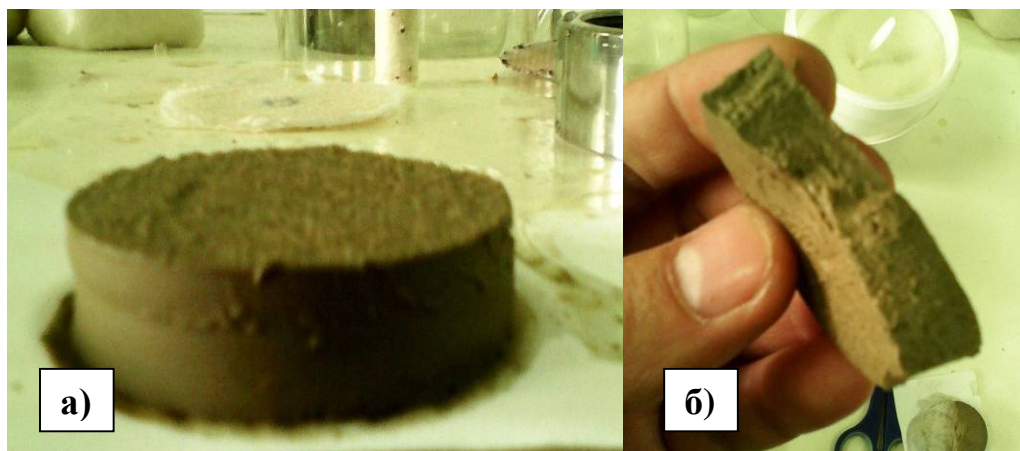
Результати вимірювань представлені у таблиці 1.

*Таблиця 1*

**Результати випробування пристрою для визначення швидкості фільтрування карбонізаційних соків під тиском у виробничих умовах**

№ п/п	Тиск у трубопроводі перед фільтрами після підігрівача, ат (кгс/см <sup>2</sup> )	Швидкість фільтрування, м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> ·год	Лужність соку І карбонізації, % СаО	Товщина шару осаду на фільтрі, мм
1.	<b>0,8</b>	1,8	0,075	11
2.	<b>0,9</b>	1,9	0,080	13
3.	<b>0,9</b>	1,9	0,080	13

На рис. 2 зображено шар осаду після фільтрування на розробленому пристрої.



**Рисунок 2. – Фотознімок шару осаду отриманого після фільтрування на розробленому пристрої: а) – загальний вигляд; б) – поперечний переріз**

Як свідчать отримані дані, швидкість фільтрування для соку І карбонізації в середньому складає 1,87 (м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·год), що 9,4 рази перевищує мінімальну швидкість фільтрування для даного типу фільтрувального обладнання. При цьому осад отриманий після фільтрування мав кристалічну структуру, що свідчить про дотримання раціональних технологічних умов проведення процесу І карбонізації, що забезпечують гарні фільтраційні властивості.

Окрім визначення швидкості фільтрування під тиском для соку І карбонізації розроблений пристрій можна застосовувати також для визначення фільтраційної здатності сиропів.

Були проведені дослідження з визначення швидкості фільтрування під тиском зразків сиропів з додаванням та без додавання флокулянту **SUPERFLOK – LT**. Для



досліджень використовували нефільтрований сироп (СР=66%) відібраний після випарної станції перед фільтрами в умовах ТзОВ «Радехівський цукор» Чортківське відділення. Дві проби сиропу по 300 мл підігрівали, обробляли флокулянтном в кількості 0,05% і 0,1% до маси СР витримували і фільтрували на лабораторному пристрої для визначення швидкості фільтрування під тиском (ЛПВШФ) [6]. Для формування намивного шару осаду використовували діатоміт із розрахунку 0,4кг на 1м<sup>2</sup> площі фільтрувальної поверхні. В якості фільтрувального матеріалу використовували фільтрувальну тканину типу «голкопробивна», що використовується для фільтрування сиропів. У отриманих зразках вимірювали швидкість фільтрування під тиском, товщину шару осаду на фільтрувальному елементі, визначали мутність. У якості контрольного зразка використовували сироп після випарної станції, що фільтрували на ЛПВШФ. Отримані дані наведені у таблиці 2 та на рис. 3.



**Рисунок 3 - Осад після фільтрування сиропу: а) - після випарки(контроль); б) - з додаванням флокулянту 0,05 % до кількості СР; в) - з додаванням флокулянту 0,1 % до кількості СР**

*Таблиця 2*

**Результати визначення швидкості фільтрування під тиском густих сиропів**

№ п/п	Найменування	Тиск, ат (кгс/см <sup>2</sup> )	Швидкість фільтрування, м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> ·год	Товщина шару осаду на фільтрі, мм	Візуальна характеристика осаду	Мутність, од. ICUMSA
1.	<b>Контроль</b>	2,0	0,12	3	Кристалічний із слідом ослизлості	109
2.	<b>Сироп з додаванням флокулянту 0,05 % до кількості СР</b>	2,0	0,57	2	Кристалічний	37
3.	<b>Сироп з додаванням флокулянту 0,1 % до кількості СР</b>	2,0	0,25	3	Ослизлий	52

Отримані дані свідчать, що швидкість фільтрування для контрольного зразка нефільтрованого сиропу складає 0,12 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·год, за тиску 2,0 ат. Застосування флокулянту у кількості 0,05% та 0,1% до кількості СР збільшує швидкість фільтрування у 4,8 та 2,1 рази відповідно, при цьому мутність сиропу зменшується на 60% та 43,0% у порівнянні з контрольним зразком. Окрім цього найкраща структура осаду (рис. 3) була отримана у другому зразку при використанні флокулянту 0,05 % до кількості СР.

**Висновки**

Отже, продуктивність фільтрувального обладнання в основному залежить від швидкості фільтрування на що впливають фізико-хімічні властивості осаду і характеристики фільтрувальної перегородки. Збільшення продуктивності можливе за рахунок різних технологічних операцій, що призводять до зменшення ступеня “загорання” фільтрувальної тканини та укрупнення частинок осаду.

Застосування розробленого пристрою дозволить оперативно отримувати адекватні дані щодо швидкості фільтрування і структури осаду карбонізаційних соків та сиропів. У виробничих умовах це дозволить оперативно вирішувати питання як щодо вибору типу фільтрувальної тканини так і впливу окремих технологічних факторів на фільтраційну здатність соків та сиропів. Окрім цього значення величини швидкості фільтрування під тиском дасть змогу об'єктивно оцінювати навантаження фільтрувальної поверхні, що зможе сприяти економії витрат на фільтрувальну тканину, а також дозволить оцінити ефективність дії на фільтраційну здатність соків та сиропів тих чи інших хімічних реагентів.

**Література**

1. Воробьев Е.И. Совершенствование фильтровальной техники пищевых производств/ Е.И. Воробьев, Ю.В. Анисеев – К.: Урожай, 1989. – 136 с.
2. Карташов А.К. Физико-химические свойства сатурационных осадков / А.К. Карташов, Ю.Д. Головняк – К.: УРНТОПП, 1958. – 38 с.
3. Шляхи підвищення ефективності очищення дифузійного соку / Л.М. Хомічак, І.Б. Петриченко, В.Ю. Виговський, О. М. Калініченко [та ін.] // Цукор України. - 2005. - № 5.
4. Ефективність використання флокулянта в процесі вапнокарбонізації зі ступінчастим підвищенням рН / Ю.М. Резніченко, В.Ю. Виговський, В.М. Логвін, Л. М. Хомічак [та ін.] // Цукор України. – 2007. –№ 5-6. – С. 22–24.
5. Особенности фильтрования и обессахаривания суспензии сока I сатурации на пресс-фильтрах / В.Н. Кухар, А.П. Чернявский, Я. Малек, З. Навратил [та ін.] // Цукор України. – 2015. – №6/7 (114/115). – С. 57 – 58.
6. Ткаченко С.В. Визначення швидкості фільтрування суспензій сатураційних соків під тиском / С.В. Ткаченко, Л.М. Хомічак, Л.М. Верченко, // Цукор України. – 2014. – №2(98). – С. 31 – 35.