

# Визначення швидкості фільтрування суспензій сатураційних соків під тиском

**С.В. Ткаченко**, науковий співробітник, Інститут продовольчих ресурсів НААН України  
**Л.М. Хомічак**, доктор технічних наук, професор, член-кореспондент НААН України,  
 заступник директора з наукової роботи Інституту продовольчих ресурсів НААН України  
**Л.М. Верченко**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

*В статті наведено аналіз та порівняння різноманітних механізмів затримки частинок твердої фази суспензії фільтрувальним шаром. На основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень доведено не повну відповідність фільтраційного коефіцієнту швидкості фільтрування суспензій сатураційних соків під тиском. Приведено конструкцію та принцип роботи вдосконаленого пристрою для визначення швидкості фільтрування суспензій сатураційних соків під тиском. Представлені результати випробувань вдосконаленого пристрою в умовах цукрового заводу.*

*Ключові слова: фільтрування, суспензія, фільтраційна здатність, фільтраційний коефіцієнт, швидкість фільтрування під тиском.*

*В статье представлен анализ и сравнение разнообразных механизмов задержки частиц твёрдой фазы суспензии фильтрующим слоем. На основании результатов теоретических и экспериментальных исследований доказано не полное соответствие фильтрационного коэффициента скорости фильтрования суспензий сатурационных соков под давлением. Приведена конструкция и принцип работы усовершенствованного устройства для определения скорости фильтрования суспензий сатурационных соков под давлением. Представлены результаты испытаний усовершенствованного устройства в условиях сахарного завода.*

*Ключевые слова: фильтрование, суспензия, фильтрационная способность, фильтрационный коэффициент, скорость фильтрования под давлением.*

*The article begins with the analysis and comparison of the impediment mechanisms variety of the suspension particles of firm phase by filter layer. Based on the results of theoretical and experimental investigations was found out an incomplete accordance of using the filtration coefficient for determination of ability to filter of saturation juices suspensions under pressure. It was shown the construction and operation principle of improved device for determining the filtration rate of suspensions of saturation juices under pressure. It was shown the test results of improved device under sugar factory conditions.*

*Keywords: filtration, suspension, the ability to filter, filtration coefficient, filtration speed under pressure.*

**В**изначення седиментаційно-фільтраційних властивостей осадів сатураційних соків має для цукрової промисловості велике практичне значення, оскільки ці властивості в першу чергу визначають ефективність роботи станції фільтрування. 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 об'єктивне визначення седиментаційно-фільтраційних властивостей осадів сатураційних соків є необхідною умовою нормальної роботи всього цукрового заводу.

Суспензії цукрового виробництва – складні гетерогенні системи, фільтрування яких залежить від багатьох фізико-хімічних і гідродинамічних факторів. Є.І. Воробйов і Ю.В. Анікеев [1] пояснюють різноманітні механізми фільтрування суспензій харчових виробництв, механізмом затрим-

ки частинок твердої фази суспензії фільтрувальним шаром (рис. 1).

Частинки твердої фази суспензії можуть затримуватися на поверхні фільтрувального шару (рис. 1, а, б, в) або в середині фільтрувального шару (рис. 1, г, д). Так, під час фільтрування суспензій масивних однорідних частинок на поверхні фільтрувального шару утворюється нестискаємий шар осаду (рис. 1, а).

За фільтрування середньоконцентрованих та висококцентрованих суспензій з полідисперсними частинками твердої фази на поверхні фільтрувального шару утворюється стискаємий шар осаду (рис. 1, б). Крім цього, під час фільтрування деяких суспензій можлива також деформація аморфних ослизливих частинок, які «розтікаються» по поверхні фільтрувального шару, що призводить до закупорювання його каналів (рис. 1, в).

У випадку фільтрування низькокцентрова-

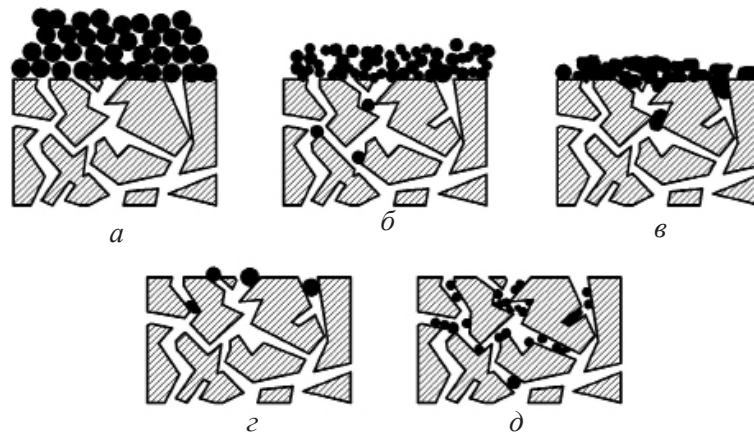


Рис. 1. Механізми затримки частинок твердої фази суспензії фільтрувальним шаром [1]

них суспензій частинки твердої фази затримуються в середині фільтрувального шару, при цьому відбувається так зване «глибинне фільтрування» (рис.1, г, д).

Інтенсивність затримки залежить від концентрації і розміру частинок твердої фази суспензії, структури та розміру пор фільтрувального шару, рушійної сили процесу, впливу сил різної природи, які діють на рухомі частинки в зоні утворення осаду.

Сьогодні на більшості цукрових заводах та в науково-дослідних установах технологи-практики та технологи-науковці фільтраційну здатність осадів сатураційних соків характеризують за допомогою фільтраційного коефіцієнту ( $F_k$ ). Це пов'язано передусім з тим, що в 50-х роках минулого століття на багатьох цукрових заводах було запроваджено безперервне фільтрування на вакуум-фільтрах [2], тому фільтраційну здатність суспензії соку I-ї карбонізації оцінювали саме величиною  $F_k$ .

Цукрові заводи для фільтрування суспензії соку I-ї карбонізації сьогодні використовують фільтри-згущувачі, а також впроваджують фільтр-преси різної конструкції для фільтрування суспензій соків I-ї та II-ї карбонізації та контрольного фільтрування після відстійників. Тому стає необхідним визначення швидкості фільтрування суспензій сатураційних соків саме під тиском.

Традиційно для визначення фільтраційних показників суспензії соку I-ї карбонізації застосовують установку А.К. Карташова [3] і мікрофільтр Дедека-Іванченка [3-5].

Установка Карташова призначена для визначення тривалості фільтрування під тиском. Якщо врахувати площу фільтра, через яку фільтрується суспензія, а також об'єм фільтрату, то можна перерахувати тривалість фільтрування під тиском на швидкість фільтрування ( $W$ ):

$$W = \frac{250 \cdot 60}{t \cdot 10^{-6} \cdot S}, \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{год}) \quad (1)$$

де  $t$  – час необхідний для отримання 250 см<sup>3</sup> фільтрату, хв;

$S$  – площа фільтра, м<sup>2</sup>.

З врахуванням того, що діаметр фільтра складає 50 мм, формула 1 набуде вигляду:

$$W = \frac{250 \cdot 60}{t \cdot 10^{-6} \cdot 0,0019625}, \text{ або } W = \frac{7,64}{t}, \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{год}) \quad (2)$$

Таким чином, визначивши час, який необхідний для отримання 250 см<sup>3</sup> фільтрату, можна вирахувати швидкість фільтрування під тиском, враховуючи те, що ці величини є пропорційними.

За даними, отриманими Карташовим, мінімальна тривалість фільтрування під тиском, яка буде задовольняти фільтруванню на фільтр-пресах, складає 8 хв. Якщо перерахувати цю величину за формулою 2, то отримаємо мінімальну швидкість фільтрування під тиском 0,96 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>•год.

За більш сучасними даними НВО «Фільтрувальна асоціація України», а також за даними наведеними в роботі [6], мінімальна швидкість фільтрування під тиском, яка дозволяє використовувати фільтр-преси, складає 0,2 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>•год. Про можливість використання фільтрів-згущувачів при незадовільних показниках  $F_k$  говорять одержані свого часу у ВНДЦП [7] дані, що засвідчили: фільтраційний коефіцієнт суспензій, які можна піддавати згущуванню на ФІЛСах, може досягати 8 с/см<sup>2</sup>. За такої межі значень фільтраційного коефіцієнту фільтр-згущувач забезпечує швидкість фільтрування під тиском в 8,4 дм<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>•хв [7], або 0,504 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>•год.

Мікрофільтр Дедека-Іванченка, призначений для визначення фільтраційного коефіцієнту, який являє собою різницю між часом проходження рівня фільтрату в бюретці між поділками 6-8 см<sup>3</sup> та 2-4 см<sup>3</sup> поділену на площу фільтра.

Основним недоліком цього приладу є те, що при перемішуванні суспензії соку відбувається тертя частинок на поверхні шару осаду на фільтрі, що призводить до змивання частинок осаду, викривленні результатів та поганій відтворюваності експериментів. Крім цього, під час експерименту по визначенню  $F_k$  змінюється величина стовпця фільтрату над фільтрувальною поверхнею і тим самим змінюється різниця тисків.

Встановлено [4], що для нормальної роботи безперервної фільтрації  $F_k$  не повинен перевищувати 6 с/см<sup>2</sup>.

Для порівняння фільтраційної здатності суспензій соків I-ї карбонізації А.К. Карташов приво-

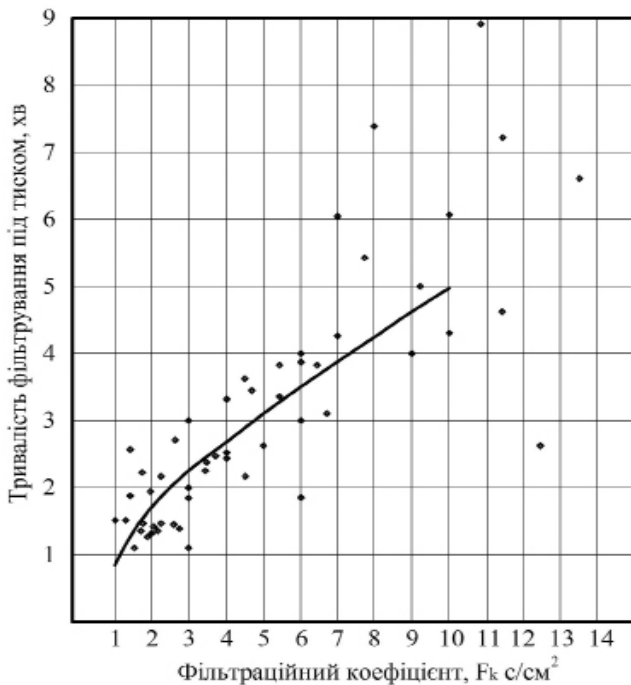


Рис. 2. Залежність між коефіцієнтом  $F_k$  та тривалістю фільтрування під тиском [3]

дить експериментальні дані, отримані на установці для визначення тривалості фільтрування під тиском та на установці для визначення  $F_k$  (рис. 2) [3].

Із залежності видно, що мінімальна тривалість фільтрування під тиском, яка дозволяє застосовувати фільтр-преси (8 хв), не відповідає значенню  $F_k$ . Крім того, за високих значень  $F_k$  відсутня залежність між значеннями тривалості фільтрування під тиском.

Тому логічним буде висновок, що для визначення фільтраційної здатності соків на фільтр-пресах та фільтрах-згущувачах необхідно керуватись не величиною  $F_k$ , а саме величиною швидкості фільтрування під тиском.

Враховуючи вищезазначене, ми поставили перед собою задачу вдосконалити існуючий пристрій для визначення швидкості фільтрування суспензій сатураційних соків під тиском, який дозволить при проведенні досліджень у лабораторії відтворити реальні виробничі умови стосовно температури, тиску, товщини шару осаду, типу фільтрувального матеріалу, режиму фільтрування.

У лабораторній практиці, як зазначалося вище, відомий пристрій [3], для визначення швидкості фільтрування під тиском, даний пристрій містить ряд недоліків, а саме відсутність можливості підтримання постійного тиску в збірнику суспензії під час проведення процесу фільтрування, постійна робота повітряного насоса, що призводить до його перевантажень за умов великої кількості проведення вимірів, складність конструкції збірника внаслідок встановлення в ньому мішалки з приводом та наварюванням камери підігріву, відсутність контролю рівня суспензії в збірнику, крім того конструкція пристрою не дозволяє використовувати масляні повітряні компресори для створення тиску, так як існує небезпека потрапляння мастила всередину збірника з суспензією.

Нами було вдосконалено пристрій [3], шляхом заміни та доповнення його окремих конструктивних елементів, а саме у вдосконаленому пристрої ми передбачили обігрів не за допомогою камери підігріву, а за допомогою теплообмінника зміювикового типу, який розташований всередині збірника суспензії, перемішування суспензії здійснюється завдяки магнітній мішалці, на яку встановлено збірник, що дозволяє спростити конструкцію та забезпечує кращу герметичність збірника. В повітропроводі після насоса встановлено ресивер з манометром, який дозволяє забезпечити рівномірну подачу повітря в збірник суспензії та уникнути перевантажень у роботі насоса, що дуже важливо під час проведення багаторазових вимірювань. Встановлення редуктора з фільтром забезпечує просте та точне регулювання тиску в збірнику суспензії під час проведення процесу фільтрування, а наявність фільтра в редукторі дає можливість подавати в збірник очищене повітря, що в свою чергу відкриває можливості використання для нагнітання повітря масляні компресори. Обладнання збірника суспензії показником рівня рідини скорочує час підготовки до вимірювання та дозволяє постійно контролювати рівень суспензії в ньому.

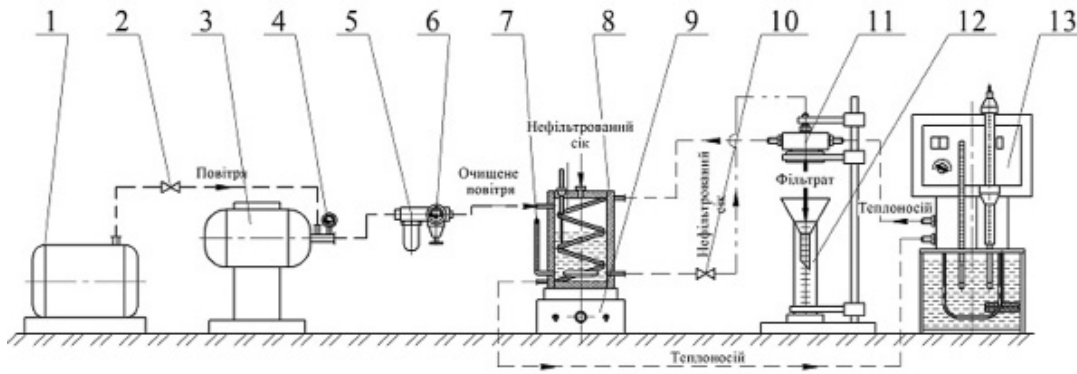
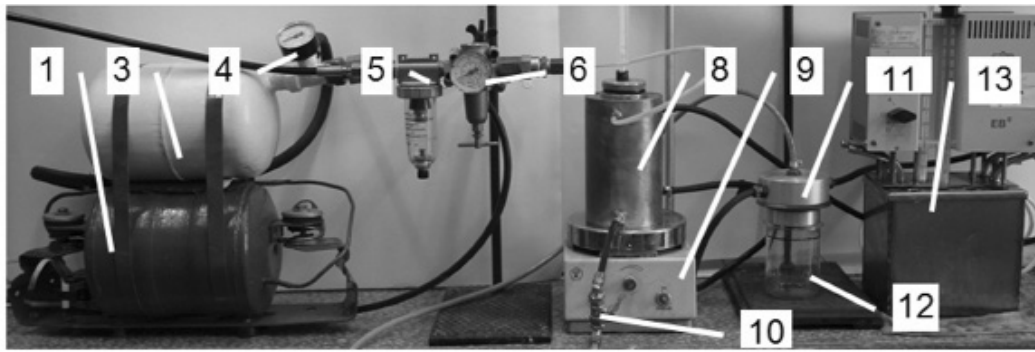
На рис. 3 наведено загальний вигляд вдосконаленого лабораторного пристрою для визначення швидкості фільтрування суспензій цукрового виробництва під тиском та його схему.

Збірник суспензії з огляду на ті кількості суспензії, які використовують в лабораторних умовах, розрахований на об'єм 1000 см<sup>3</sup>.

Фільтрувальна головка виготовлена в чіткій відповідності з кресленням [3, 4]. Матеріал головки – алюміній. Для дослідження швидкості фільтрування під тиском суспензій соків оброблених різною кількістю вапна, була також виготовлена фільтрувальна головка з оргскла, яка дає можливість контролю товщини шару осаду на фільтрувальній поверхні. Фільтрувальна тканина, яка використовувалась у пристрої для визначення швидкості фільтрування під тиском, широко застосовується цукровими заводами для екіпіровки фільтр-пресів та фільтрів-згущувачів. Зразки тканини були надані нам НВО «Фільтрувальна Асоціація України». Це тканина типу «199 S» монофіламентна, а саме: основа тканини та уток виготовлені із суцільного полімерного волокна.

Лабораторний пристрій працює наступним чином. Вмикають магнітну мішалку 9 та наливають у збірник 8 необхідну кількість досліджуваної суспензії, рівень суспензії в збірнику контролюють показником рівня рідини 7. Тиск створюють за допомогою повітряного насоса 1, повітря з якого надходить в ресивер 3. Після досягнення необхідного тиску в ресивері 3 перекривають кран 2 та відкривають редуктор з фільтром 5, з якого очищене повітря надходить в збірник суспензії 8, де





**Рис. 3.** Загальний вигляд вдосконаленого лабораторного пристрою для визначення швидкості фільтрування суспензій цукрового виробництва під тиском та його схема: 1 – повітряний насос; 2, 10 – запірні крани; 3 – ресивер; 4, 6 – манометри; 5 – редуктор з фільтром; 7 – показчик рівня рідини; 8 – збірник суспензії; 9 – магнітна мішалка; 11 – фільтрувальна головка; 12 – мірна ємність; 13 – термостат

створюється необхідний тиск. Постійна температура у фільтрувальній головці 11 і у збірнику суспензії підтримується за допомогою термостата 13. Після нагріву суспензії в збірнику 8 до необхідної температури, у фільтрувальну головку 11 вставляють фільтрувальний набір тканин. По досягненні необхідного тиску в збірнику 8, що контролюється манометром 6, помалу відкривають кран подачі суспензії 10 на фільтрувальну головку 11. Після цього за допомогою редуктора з фільтром 5 підтримують постійний тиск. Перші 25% фільтрату

від загальної кількості суспензії повертають знову в збірник, що необхідно для створення шару осаду на фільтрі і проведення процесу фільтрування. За секундоміром відмічають час, який необхідний для отримання 250 см<sup>3</sup> фільтрату. Швидкість фільтрування визначається за формулою 2.

Використовуючи вдосконалений пристрій для визначення швидкості фільтрування під тиском було досліджено швидкість фільтрування суспензій вапнокарбонізованих соків за різної витрати вапна при очищенні дифузійних соків різної

**Таблиця 1**

**Залежність седиментаційно-фільтраційних властивостей суспензії вапнокарбонізованого соку від витрат вапна**

Чистота дифузійного соку, %	Витрата вапна, % СаО до маси соку	Швидкість осадження середня за 5 хвилин, S <sub>5</sub> , см/хв	Об'єм осаду V <sub>25</sub> , %	Фільтраційний коефіцієнт F <sub>k</sub> , с/см <sup>2</sup>	Швидкість фільтрування під тиском W, м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> хгод
83,4	0,2	1,4	19,0	9,8	0,590
	0,3	1,5	19,5	9,4	0,590
	0,4	1,6	20,0	8,7	0,588
	0,5	1,8	21,0	8,0	0,586
	0,6	2,0	21,5	7,4	0,583
	0,7	2,4	22,0	6,2	0,575
	0,8	2,8	23,0	5,9	0,569
	0,9	2,9	24,0	5,7	0,565
	87,0	0,2	2,2	18,0	7,7
0,3		2,3	18,0	6,8	0,610
0,4		2,4	18,5	6,3	0,600
0,5		2,8	19,0	5,0	0,585
0,6		3,2	19,5	4,9	0,579
0,7		3,3	20,0	4,8	0,577
0,8		3,4	21,0	4,7	0,575
0,9		3,4	21,0	4,7	0,575

## Показники швидкості фільтрування під тиском суспензії соку І-ї карбонізації, отримані у лабораторних і виробничих умовах

Найменування показника	Лабораторні умови	Виробничі умови
Швидкість фільтрування під тиском $W$ , $\text{м}^3/\text{м}^2\cdot\text{год}$	0,712	0,715
	0,711	0,709
	0,712	0,720
	0,713	0,721
	0,714	0,723

якості. Крім цього показника визначали середню швидкість осадження за 5 хв ( $S_5$ ), об'єм осаду за 25 хв ( $V_{25}$ ) та фільтраційний коефіцієнт ( $F_k$ ). Одержані дані представлено в **таблиці 1**.

Одержані дані підтвердили результати досліджень, отримані А.К. Карташовим, щодо неповної відповідності значень фільтраційного коефіцієнту і швидкості фільтрування під тиском. Так, за високих значень фільтраційного коефіцієнту ( $6,2\text{--}9,8 \text{ с}/\text{см}^2$ ), при яких фільтрування вважається незадовільним, швидкість фільтрування під тиском приблизно в 3,0 рази перевищує мінімальну швидкість ( $0,2 \text{ м}^3/\text{м}^2\cdot\text{год}$ ), яка дозволяє використовувати для фільтрування фільтр-преси [6].

Вимірювання швидкості фільтрування під тиском нефільтрованої суспензії соку І-ї карбонізації в лабораторних умовах засвідчило, що вона в 3,5 рази (**табл. 2**) перевищує мінімальну швидкість фільтрування ( $0,2 \text{ м}^3/\text{м}^2\cdot\text{год}$ ), яка дозволяє використовувати фільтр-преси.

Придатність використання вдосконаленого пристрою для визначення швидкості фільтрування суспензій сатураційних соків під тиском була підтверджена випробуванням його на ПуАТ «Саливонківський цукровий завод».

Випробування проводили на нефільтрованій суспензії соку І-ї карбонізації. Одержані дані представлено в **таблиці 2**.

Порівняння даних, які одержані у виробничих умовах, з показниками, які отримані в лабораторії під час експерименту, свідчить про високу схожість результатів.

Вдосконалений лабораторний пристрій для визначення швидкості фільтрування суспензій цукрового виробництва захищений патентом України [8].

Зараз проводяться роботи по модернізації вдосконаленого пристрою для визначення швидкості фільтрування під тиском та адаптації його до широкого промислового застосування на цукрових заводах, як для проведення досліджень в умовах виробничої лабораторії, так і для оперативного контролю швидкості фільтрування суспензій цукрового виробництва у потоці.

У випадку використання пристрою в умовах виробничої лабораторії виключається використання блоку для нагнітання стисненого повітря, оскільки для створення тиску у збірнику суспензії можна застосувати повітря із заводської магістралі. Для оперативного контролю швидкості фільтрування суспензій цукрового виробництва у потоці планується

підключення фільтрувальної головки до трубопроводу перед подачею суспензії на фільтрувальне обладнання, яке працює під тиском.

Таким чином, на основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень встановлено, що фільтраційний коефіцієнт  $F_k$  не завжди відображає реальну здатність суспензій сатураційних соків до фільтрування під тиском. Це вимагає при визначенні здатності суспензій сатураційних соків для фільтрування на фільтр-пресах або фільтрах-згущувачах керуватись не величиною фільтраційного коефіцієнту, а саме швидкістю фільтрування під тиском. Разом з цим використання вдосконаленого лабораторного пристрою забезпечить не тільки просте та точне визначення швидкості фільтрування під тиском, а й дозволить відтворити реальні виробничі умови щодо температури, тиску, товщини шару осаду, типу фільтрувального матеріалу та режиму фільтрування.

#### Список використаних джерел

1. Воробьев Е.И. Совершенствование фильтровальной техники пищевых производств / Е.И. Воробьев, Ю.В. Аникеев – К.: Урожай, 1989. – 136 с.
2. Schlosser H. Непрерывная фильтрация в кампанию 1954 года / Н. Schlosser // Zucker. – 1955. – №10 – С. 212-220.
3. Карташов А.К. Физико-химические свойства сатурационных осадков / А.К. Карташов, Ю.Д. Головняк – К.: УРНТОПП, 1958. – 38 с.
4. Инструкция по химико-техническому контролю и учёту сахарного производства. – Киев : ВНИИСП, 1983. – 475 с.
5. О.А. Герасименко. Методи аналізу і контролю у виробництві цукру / О.А. Герасименко, Т.П. Хвалковський. – К. : Вища школа, 1992. – 387 с.
6. Волошин З.С. Автоматизация сахарного производства / З.С. Волошин, Л.П. Макаренко, П.В. Яцковский. – М. : Агропромиздат. – 1990. – 271 с.
7. Инструкция по ведению технологического процесса свеклосахарного производства. – М : Минпищепром СССР, 1985. – 372 с.
8. Патент на корисну модель 80659 U Україна МПК13 C13B 10/00. Лабораторний пристрій для визначення швидкості фільтрування / Ткаченко С.В., Верченко Л.М., Хомічак Л.М., Ткаченко В.І.; заявник і патентовласник Національний університет харчових технологій – № 201213595; заявл. 27.11.2012; опубл. 10.06.2013, Бюл. №11.