

УДК 664.1.038, 664.1.05

**КЛАСИФІКАЦІЯ, БУДОВА І ВИМОГИ ДО ФІЛЬТРУВАЛЬНИХ ТКАНИН
ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО РОЗДІЛЕННЯ СУСПЕНЗІЙ ЦУКРОВОГО ВИРОБНИЦТВА**

Стичинський Є. В.^{1,3}, директор,
ТОВ «Фабрика ФІЛКОН», аспірант
<https://orcid.org/0000-0001-9477-6296>

Ткаченко С. В.^{1,2}, к.т.н., старший дослідник,
с.н.с. відділу технології цукру, цукровмісних продуктів та інгредієнтів,
старший викладач кафедри харчових виробництв
<https://orcid.org/0000-0003-2897-8978>

¹Інститут продовольчих ресурсів НААН України, м. Київ, Україна

²Інститут післядипломної освіти НУХТ, м. Київ, Україна

³ТОВ «Фабрика ФІЛКОН», Київ, Україна

<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-22-17>

Предмет. Ефективним методом інтенсифікації розділення суспензій за допомогою фільтрування є вплив на фільтрувальну перегородку шляхом зменшення її опору і створення поверхні, що забезпечує максимальне знімання осаду. Одним із шляхів вирішення такого завдання є розроблення, раціональний підбір і застосування фільтрувальних тканини, що дають змогу забезпечити оптимальну швидкість процесу фільтрування з отриманням якісного фільтрату.

Мета. Метою роботи було провести моніторингове дослідження класифікації фільтрувальних тканини за типом технічних ниток, структурою переплетення, типом обробки і особливостями фільтрації та дати аналітичну оцінку впливу характеристик фільтрувальної тканини на її експлуатаційні властивості і ефективність розділення суспензій цукрового виробництва.

Методи. Аналіз і моніторингове дослідження проводилося з використанням методичних підходів, які застосовуються у вітчизняній та міжнародній практиці. **Результати.** Визначено, що властивості фільтрувальної перегородки пов'язані з дисперсністю часточок твердої фази суспензії та допоміжних фільтрувальних матеріалів. Будова фільтрувальної тканини залежить від структури, діаметру, переплетіння, щільності та товщини ниток. На міцність фільтрувальної тканини, питому пропускну здатність і тонкість фільтрування впливає саме характер переплетіння ниток. Для цукрової галузі найкращими є синтетичні тканини, виготовлені з поліпропіленових і поліамідних ниток, що не дають усадку під час тривалого перебування в фільтрованих середовищах, оскільки вони мають високу механічну міцність, а також високу термічну та хімічну стійкість. Обробка тканин за високої температури та тиску з одного або двох боків (каландруванням) створює гладку плівку на поверхні тканини, що полегшує її відновлення та очищення від осаду під час експлуатації. Термообробка вже витканої фільтрувальної тканини стабілізує та зміцнює структуру, перешкоджає «розповзанню» тканини на окремі нитки, що зменшує усадку тканини під час її використання. **Сфера застосування результатів.** Цукрові підприємства одержать дані щодо вибору найбільш доцільних фільтрувальних тканин для розділення відповідних суспензій в технологічному процесі цукрового виробництва.

Ключові слова: фільтрація, фільтрувальна тканина, суспензія, розділення, дисперсність, часточки, тверда фаза, адсорбція, сорбент, швидкість фільтрації, фільтраційна здатність, фільтрат, сироп, цукор, якість, цукрове виробництво, процес

**CLASSIFICATION, STRUCTURE AND REQUIREMENTS FOR FILTER FABRICS
FOR EFFICIENT SEPARATION OF SUGAR PRODUCTION SUSPENSIONS**

Yevhenii Stychynskyi^{1,3}, Director, LLC “Fabrica Filcon”, Postgraduate Student
<https://orcid.org/0000-0001-9477-6296>

Serhii Tkachenko^{1,2}, PhD, Senior Researcher, Senior Research
of Department of Sugar Technology, Sugar-containing Products and Ingredients,
Senior Lecturer of the Department of Food Production
<https://orcid.org/0000-0003-2897-8978>

¹Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine

²Institutes of Postgraduate Education of NUFT, Kyiv, Ukraine

³LLC “Fabrica Filcon”, Kyiv, Ukraine

Subject. An effective method of intensifying the separation of suspensions by filtration is to influence the filter baffle by reducing its resistance and creating a surface that ensures maximum sediment removal. One of the ways to solve this problem is to develop, rationally select and use filter cloths that allow for optimal speed of the filtration process and obtain a high-quality filtrate. **Purpose.** The aim of the work was to conduct a monitoring study of the classification of filter fabrics by the type of technical yarns, weave structure, type of processing and filtration features and to give an analytical assessment of the influence of filter fabric characteristics on its operational properties and efficiency of separation of sugar production suspensions. **Methods.** The analysis and monitoring study was conducted using methodological approaches used in domestic and international practice. **Results.** It has been determined that the properties of the filter membrane are related to the dispersion of particles of the solid phase of the suspension and auxiliary filter materials. The structure of the filter cloth depends on the structure, diameter, weave, density, and thickness of the threads. It is the nature of the yarn weave that affects the strength of the filter cloth, specific throughput and filtration fineness. For the sugar industry, synthetic fabrics made of polypropylene and polyamide yarns that do not shrink during prolonged exposure to filtered media are the best, as they have high mechanical strength, as well as high thermal and chemical resistance. The treatment of fabrics at high temperature and pressure on one or both sides (calendering) creates a smooth film on the fabric surface, which facilitates its recovery and cleaning from sediment during operation. Heat treatment of already woven filter fabric stabilizes and strengthens the structure, prevents the fabric from "spreading" into separate threads, which reduces shrinkage of the fabric during use.. **Scope of results.** Sugar enterprises will receive data on the selection of the most appropriate filter fabrics for the separation of relevant suspensions in the technological process of sugar production.

Keywords: filtration, filter cloth, suspension, separation, dispersion, particles, solid phase, adsorption, sorbent, filtration speed, filtration ability, filtrate, syrup, sugar, quality, sugar production, process

Постановка проблеми. Удосконалення процесу фільтрування може значно підвищити ефективність процесу розділення суспензій. Підбір найкращих режимів фільтрування і відповідних фільтрувальних перегородок дозволяє підвищити продуктивність обладнання, одночасно знижуючи капітальні та експлуатаційні витрати на проведення процесу.

Для аналізу підвищення ефективності розділення суспензії за допомогою фільтрування використовують основне рівняння фільтрування, що представлено нижче [1, 2]:

$$W = \frac{\Delta P}{\mu \cdot \left(\bar{r} \cdot \psi \cdot x \cdot \frac{V}{S} + R_n \right)}, \quad (1.1)$$

де W – швидкість фільтрації, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$; ΔP – перепад тиску, Па;

μ – коефіцієнт динамічної в'язкості фільтрату, Па·с;

$\bar{r}$ – середній питомий опір осаду, м^{-2} ;

ψ – коефіцієнт зміни швидкості рідини в шарі осаду;

x – відношення об'єму осаду до об'єму фільтрату;

V – об'єм фільтрату отриманий за час фільтрування, м^3 ;

S – площа фільтрування, м^2 ;

R_n – опір фільтрувальної перегородки, м^{-1} .

Рівняння (1.1) показує, що збільшення рушійної сили (перепаду тиску) і зменшення параметрів, що входять до знаменника рівняння, включаючи опір фільтрувальної перегородки, можуть прискорити процес фільтрування.

Матеріали та методи. Аналіз і моніторингове дослідження проводилося з використанням методичних підходів, які застосовуються у вітчизняній та міжнародній практиці.

Результати та обговорення. Вплив на фільтрувальну перегородку з метою зменшення її опору і досягнення максимального знімання осаду є одним з економічних і швидких шляхів інтенсифікації процесу фільтрування, під час фільтрування концентрованих суспензій [2]. Для отримання високоякісного фільтрату і підтримки високої проникності фільтрувальної перегородки під час розділення неконцентрованих суспензій (сиропів тощо) додатково підбирають ефективні допоміжні фільтрувальні матеріали (сорбенти), такі як перліт, діатоміт тощо.

Приклад змін опору перегородки за впливу розміру її пор, дисперсності часточок суспензії і часточок допоміжного фільтрувального матеріалу. показано на рисунку 1.

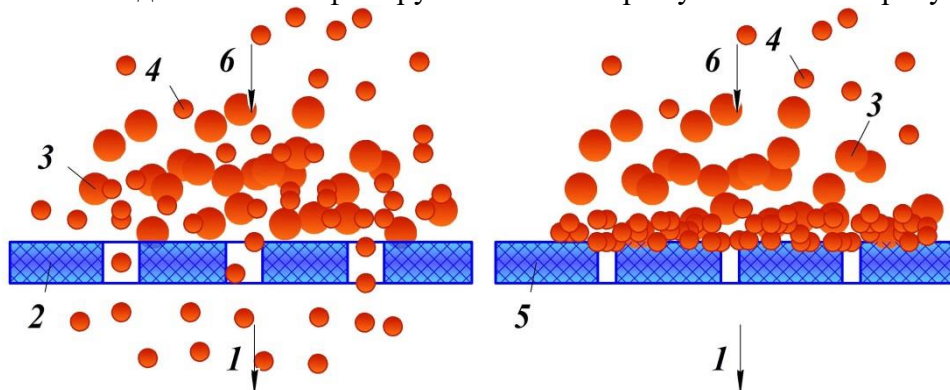


Рис. 1. Формування структури осаду від типу фільтрувальної перегородки:

- 1 – фільтрат; 2 – фільтрувальна перегородка з великими порами;
3 – часточки допоміжних фільтрувальних матеріалів; 4 – часточки твердої фази суспензії;
5 – фільтрувальна перегородка з малими порами; 6 – вихідна суспензія

Так часточки високодисперсної твердої фази, що пройшли через осад під час фільтрування, потрапляють у фільтрат, за використання фільтрувальної перегородки з великими порами. Використання фільтрувальної перегородки з малими порами призводить до створення на перегородці шару з великим питомим опором, оскільки затримуються дрібнодисперсні частки твердої фази суспензії. В цьому випадку за використання грубодисперсних допоміжних матеріалів кількість часточок твердої фази суспензії, які пройшли через осад до поверхні фільтрувальної перегородки, збільшується. Це призводить до значного збільшення опору фільтрування за використання щільної фільтрувальної перегородки (рис. 1). Таким чином, дрібнодисперсні часточки можуть продавлюватися через пори цієї перегородки, закупорюючи її (рис. 2).

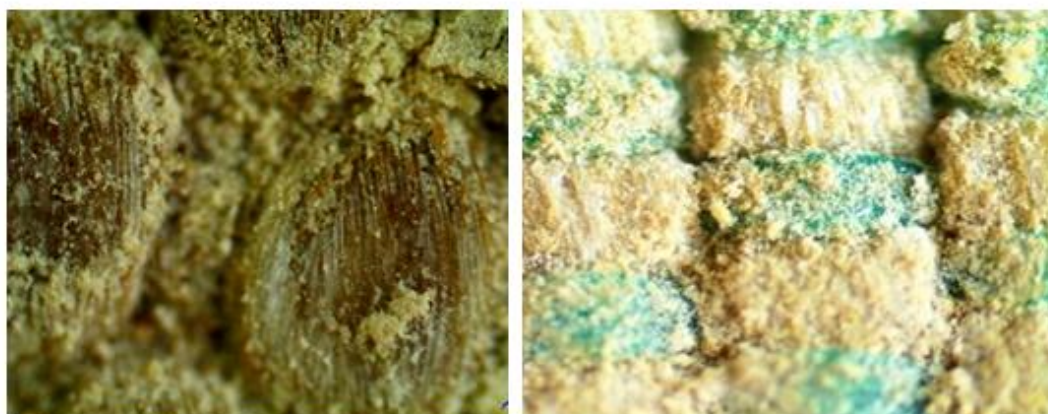


Рис. 2. Мікрофотознімки внутрішньої сторони фільтрувальних тканин з проникненням дрібнодисперсних часточок твердої фази карбонізованої суспензії за неї (збільшення 4 рази)

Такі обставини можуть призвести до значного зниження швидкості фільтрування, оскільки на фільтрувальній перегородці утворюється непроникний шар осаду, що складається з високодисперсних часточок твердої фази суспензії. Так часточки твердої фази суспензії потраплятимуть у фільтрат, коли розмір пор фільтрувальної перегородки збільшується, що спричиняє зниження якості фільтрату, але не зменшує швидкість процесу.

Таким чином, властивості фільтрувальної перегородки повинні бути пов'язані з дисперсністю часточок твердої фази суспензії і часточок допоміжних фільтрувальних матеріалів.

Загальні вимоги до фільтрувальних перегородок включають такі характеристики: Висока здатність відокремлення часточка твердої фази певних розмірів від суцільного середовища (рідини); максимально легке видалення з поверхні перегородки твердої фази (осаду); перегородка повинна мати достатньо високу міцність і низький гідравлічний опір [2, 3].

Фільтрувальні перегородки, що використовуються для розділення суспензій цукрового виробництва, можна класифікувати за різними ознаками, включаючи їхнє призначення, принцип дії, вид матеріалу, який використовується для їх виготовлення і спосіб виготовлення.

Перегородки поділяються на такі основні типи [2]: фільтрувальні тканини; неткані волокнисті середовища (наприклад, целюлозні); намівні шари; жорсткі матеріали для фільтрації (наприклад, керамічні, металокерамічні пластини) і фільтрувальні мембрани.

Під час розробки фільтрувального обладнання для цукрової промисловості дедалі більше звертають увагу на вибір найкращих фільтрувальних тканин, правильний вибір яких може значно підвищити ефективність процесу фільтрування [3, 4].

Для цукрового виробництва використовуються фільтрувальні тканини, виготовлені з натуральних органічних волокон (бавовна, папір) або синтетичних органічних волокон (поліпропілен, поліамід, поліефір). Бавовняні нитки довгий час були основним матеріалом для виготовлення фільтрувальних тканин. З них отримували бельтинг і фільтродіагональ товщиною від 1,0 до 1,5 мм.

Традиційним типом фільтрувальних перегородок у цукровій і інших харчових галузях є **бавовняні фільтрувальні тканини**: бельтинг, фільтродіагональ, полотно бавовняно-паперове [2]. Їхні переваги включають достатню здатність затримувати тверду фазу і низьку вартість. Але бавовняні тканини значно поступаються тканинам із синтетичних волокон за своїми властивостями, вони швидко забиваються осадом і руйнуються в агресивних середовищах.

Поверхня більшості бавовняних тканин шорстка через виступаючі кінці волокон. Це сприяє затримці (адсорбції) на поверхні твердих часточок суспензії на початку циклу фільтрування, коли осад ще не утворився. Однак після завершення циклу фільтрування це спричиняє ускладнене відокремлення осаду від поверхні тканини.

Наразі в цукровій промисловості в основному використовують фільтрувальні тканини, виготовлені з синтетичних органічних волокон, таких як поліпропілен, лавсан (поліефір), капрон (поліамід) і капронолавсан [2, 3, 5]. Оскільки тканини, виготовлені з синтетичних органічних волокон, мають властивості, що забезпечують їм високу механічну, термічну і хімічну стійкість. Під час контакту з рідинними середовищами вони мають мінімальну усадку. Найчастіше використовують тканини, що виготовлені з поліамідних і поліпропіленових волокон.

Поліпропіленові фільтрувальні тканини стійкі як у лужному, так і в кислому середовищі, а їх поверхня має низьку адгезію, що дає змогу легко відокремлювати фільтраційний осад. Їх можна використовувати для багатьох типів фільтрів.

Лавсанові фільтрувальні тканини використовують як фільтрувальні перегородки для розділення карбонізованих соків і сиропів цукробурякового виробництва переважно

на вакуум-фільтрах, дискових фільтрах [2]. Лавсан – це поліефірне волокно, що має кращі показники міцності на розрив ($74...87 \text{ кг/мм}^2$), ніж інші синтетичні волокна, він є стійким у низькоконцентрованих кислих і слаболужних середовищах, але руйнується в умовах концентрованих кислот і високолужних суспензій.

Капронові фільтрувальні тканини виготовляються з поліамідних волокон. Поліамідні волокна мають міцність 60 кг/мм^2 , що у два рази більше, ніж у бавовни [2], вони міцні в лужних середовищах, але можуть руйнуватися в кислих.

Поліамідні тканини нового покоління мають надзвичайну міцність як у сухому, так і у вологому стані, і вони довговічніші за бавовняні тканини. Навіть за високих температурах (до 120°C) вони стійкі до дії лужних середовищ [6].

Фільтрувальні тканини, виготовлені з поліамідних і лавсанових волокон, добре фільтрують лужні і слабокислі суспензії. Крім того, такі фільтрувальні тканини мають більшу механічну міцність і стійкість до корозії порівняно з тканинами з натуральних волокон. Також вони володіють нижчою адгезією до осаду, що полегшує його видалення з поверхні і умови регенерації тканини. Отже, гладкі волокна поліамідів забезпечують ефективне видалення осаду з поверхні тканини. Капронолавсанові тканини широко застосовуються в цукровій промисловості, включаючи фільтри-згущувачі ФІЛС, вакуум-фільтри та інші. [2, 3].

Синтетичні фільтрувальні тканини мають більший негативний ξ -потенціал у лужному середовищі, ніж у бавовняних, що пояснює їх відносно низьку адгезію осаду і високу здатність до регенерації [7-9]. Ця різниця за абсолютною величиною зростає разом із величиною рН середовища. Крім того, частинки карбонізованого осаду також мають негативний ξ -потенціал [10-12]. Це сприяє тому, що пори фільтрувальної тканини менше «закупорюються».

Синтетичні волокна можна використовувати для виготовлення тканин, що неможливо створити з природних волокон. Через високі навантаження на розтягнення, характерні для роботи сучасних фільтр-пресів [13], всі бавовняні тканини, які використовувалися раніше у виробництві цукру, стали непридатними [2]. Поліпропіленова фільтрувальна тканина, що не піддавалася витягуванню і використовувалася протягом двадцяти-двадцяти п'яти діб, виявилася найкращою для фільтр-пресів [2].

Схема вибору матеріалу ниток для виготовлення фільтрувальної тканини в залежності від їх хімічної і термічної стійкості наведена на рисунку 3 [6].

Також в таблиці 1 представлено характеристики синтетичних технічних ниток у порівнянні з бавовняним волокном [6, 14-29].

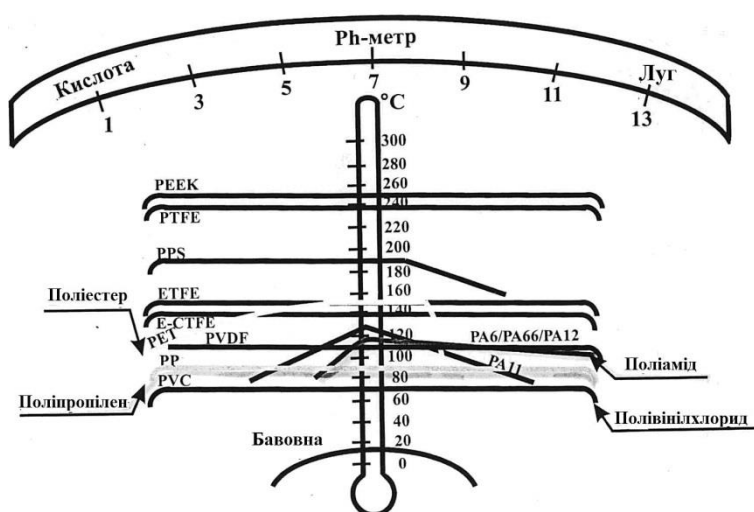


Рис. 3. Схема вибору матеріалу ниток для виробництва фільтрувальної тканини

Нитки, що використовують для виготовлення фільтрувальних тканин, можуть складатися: з моноволокон, тобто одиничних ниток безперервної довжини (філоментів) з порівняно великим діаметром – монофіломентні нитки; коротких волокон, переплетених між собою у безперервні нитки – текстуровані нитки; або двох або більше моноволокон, скручених між собою – мультифіломентні нитки [24,

27]. Комбіновані нитки складаються з текстурованих ниток, що мають різну структуру і характеристики. Моноволокна зазвичай є екструдованими нитками штучного походження, а короткі волокна для мультифіломентних ниток можуть бути синтетичними або натуральними [24, 27].

Текстуровані нитки, виготовлені з поліамідних волокон, відрізняються від звичайних текстильних ниток високим питомим об'ємом, сильною звивистістю, пухкою структурою та великою пружною розтяжністю [14, 27].

Таблиця 1

Характеристики технічних ниток в залежності від їх матеріалу

Властивості	Типи ниток залежно від полімеру			
	Поліпропіленові	Поліамідні	Поліефірні	Бавовняні
Щільність, кг/м	910	1140	1380	1520
Відносне розривне навантаження, сН/текс	35-40	60-75	65-80	25-35
Відносне розривне подовження, %	15-25	20-35	20-45	7-8
Температура експлуатації t, C°	80°	120°	160°	110°
Модуль пружності, МПа	3000	5500	10000	5000
Втомлювані властивості	Задовільні	Відмінні	Хороші	Задовільні
Зносостійкість	Задовільна	Відмінна	Хороша	Погана

Порівняно з поліпропіленом поліамід має кращі характеристики міцності, а також хорошу хімічну стійкість до лужних середовищ (рис. 3, табл. 1). Такі нитки виробляються за допомогою методу, відомого як «хибне крутіння», що включає попередню і остаточну теплову обробку волокон.

Наразі найефективнішим методом отримання фільтрувальних тканин є тканинов'язання [2, 30]. Завдяки цій технології можна виробляти фільтрувальні елементи діаметром 72, 100 мм для автоматизованих патронних фільтрів цукрового заводу. Процес виготовлення тканинов'язаного полотна включає наступні технологічні етапи: мотання ниток на мотальному обладнанні, в'язання полотна на в'язальній машині, сортування, штопання та намотування в рулони. Використання тканинов'язаних фільтрувальних елементів зменшує кількість швейних ниток, зменшує втрати тканини під час розкрою та збільшує площу фільтрації, оскільки вони не мають шва.

Будова фільтрувальної тканини залежить від структури, діаметру, переплетіння, щільності і товщини ниток [23-27]. Тканини складаються з двох систем паралельних ниток, розташованих одна до одної перпендикулярно. Основа – так називають нитку, яка лежить в поздовжньому напрямку, а уток – це назва нитки, що лежить в поперечному напрямку [23-27]. Тканини за різними видами переплетіння класифікують залежно від того, як нитки розташовані між собою.

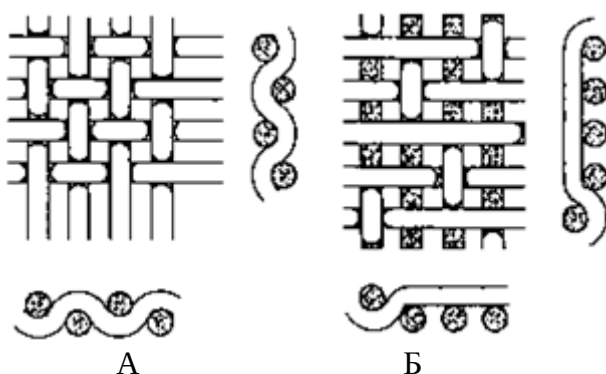


Рис. 4. Схеми переплетіння волокон фільтрувальних тканин:
А) – полотняне; Б) – саржеве

На міцність фільтрувальної тканини, питому пропускну здатність і тонкість фільтрування впливає тип переплетення ниток [27]. Найпоширенішими є два види переплетень, що утворюють пори різної конфігурації: полотняне і саржеве (рис. 4) [3, 23-27].

У результаті полотняного переплетіння (рис. 4, А) взаємно перпендикулярні нитки утка і основи перетинаються попеременно. Це призводить до рівномірного розташування пор квадратної форми по всій поверхні

тканини. У цьому випадку тканина має високу поздовжню і поперечну міцність. Тканини полотняного переплетіння мають найвищу тонкість і найвищу повноту фільтрування, але мають меншу пропускну здатність за інших рівних умов. Для виготовлення бавовняних і різних синтетичних тканин використовують саме це переплетення.

Отвори фільтрувальної тканини утворені за саржевого переплетення (рис. 4, Б)) мають форму, близьку до паралелограма, вони неоднакові за розміром і нитки розташовані більш вільно, ніж у полотняного переплетення, оскільки одна нитка основи перекривається послідовно двома, трьома або чотирма уточними нитками зверху і однією знизу. Незважаючи на те, що тканини саржевого переплетення мають більшу пропускну здатність, ніж тканини полотняного переплетення, вони мають дещо меншу міцність і нижчу тонкість фільтрування. Таким типом переплетення характеризується бавовняна тканина фільтродіагональ, а також деякі синтетичні тканини.

Нині в Україні почали виробляти фільтрувальні тканини з використанням нових структур і переплетень відповідно до використовуваних матеріалів [30, 31]. Це дволицьові тканини і тканини, що пройшли термічну обробку, каландрування або ворсування.

Боки дволицьових тканин відрізняються за гладкістю [29–31]. Для легкого видалення осаду робочий (зовнішній) бік такої тканини надзвичайно гладкий, тоді як внутрішній (негладкий) бік має високу фільтраційну здатність.

Термообробка тканин, також відома як термофіксація або термостабілізація, проводиться з метою збереження їхньої структури. Цей процес супроводжується нагріванням вже витканої тканини до певної температури, що зміцнює тканину, запобігаючи її «розповзанню» на окремі нитки, і зменшує усадку тканини під час використання [32].

Каландрування фільтрувальної тканини з одного або двох боків створює на її поверхні своєрідну плівку. Це полегшує відновлення тканини і очищення її від осаду (рис. 5) [26]. Ця процедура здійснюється за допомогою обробки тканин за високих температур і тиску, що дозволяє отримати необхідну повітропроникність і гладку поверхню робочого боку.

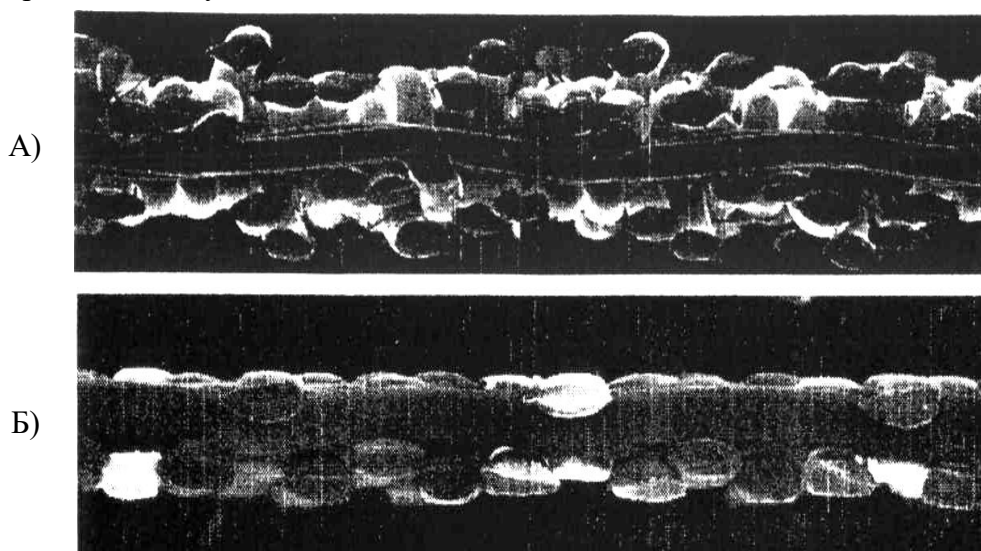


Рис. 5. Зображення поперечного перерізу фільтрувальної тканини:
А) – некаландрована; Б) – стандартно каландрована

Неткані фільтрувальні перегородки виготовляють із тих самих волокон або їхніх комбінацій, що й ткані перегородки в основному голкопробивним методом [27]. Вони перевершують ткані перегородки за пористістю і затримувальною здатністю завдяки звивистості пор, але значно поступаються їм за механічною міцністю, здатністю до регенерації і властивостями знімання осаду. Неткані перегородки фактично є перегородками одноразового використання. На цукрових заводах використовують

мішечки з армованих нетканих матеріалів для фільтрування сиропу або суміші сиропу і клерування.

Монофіломентна тканина відрізняється від мультифіломентної тим, що монофіломентна фільтрувальна тканина фільтрує на поверхні, тоді як мультифіломентна фільтрує ще й всередині (рис. 6) [26].

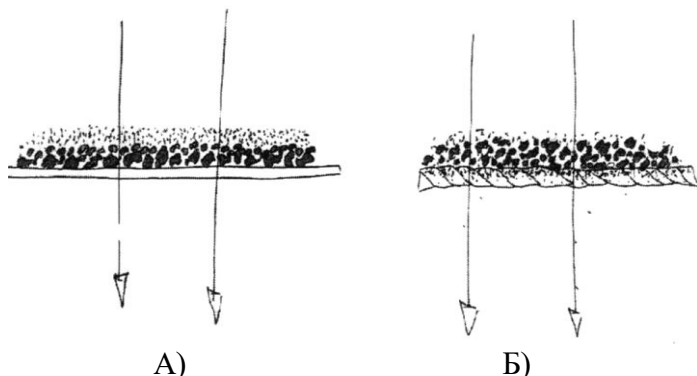


Рис. 6. Фільтрування через монофіламентну (А) і мультифіламентну тканини (Б)

Основними перевагами використання монофіломентної тканини є такі: гладка поверхня, що забезпечує хороше знімання осаду, менше циклів промивання і менше «заліплення» осадом; рівномірне фільтрування по всій поверхні тканини, яке забезпечує рівномірне формування осаду, рівномірне промивання і низьку вологість осаду, а також відсутність периферійної течії фільтрованого середовища.

Структура волокна монофіломентної фільтрувальної тканини показана на рис. 7 [6].

Мультифіломентна тканина має багато переваг [26, 33], включаючи міцність структури, низьку вартість і високу здатність затримувати дрібні частинки твердої фази.

Серед недоліків використання мультифіломентної тканини є швидке «заліплення» осадом поверхні фільтрувальної тканини і погані властивості скидання осаду з поверхні.

Структура волокна мультифіломентної фільтрувальної тканини показана на рис. 8.

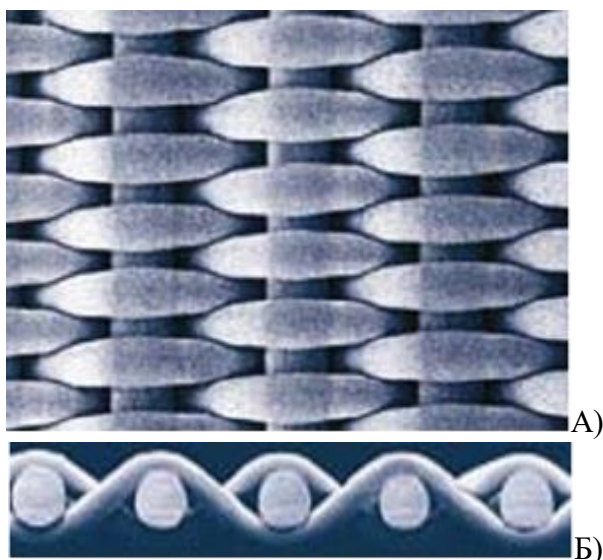


Рис. 7. Структура волокна монофіломентної тканини:
А) – вид зверху; Б) – поперечний переріз

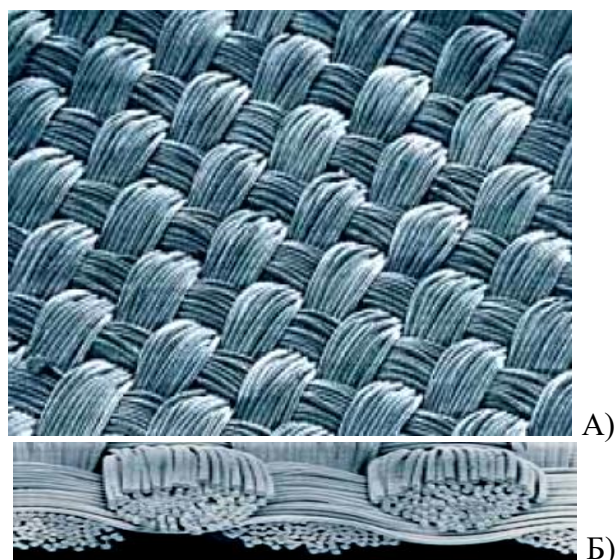


Рис. 8. Структура волокна мультифіломентної тканини:
А) – вид зверху; Б) – поперечний переріз

Каландрування мультифіломентної тканини – це спосіб успішно впоратися з її недоліками [26].

Переваги каландрованої мультифіломентної тканини включають зменшення кількості циклів миття; збільшення пропускної здатності перед регенерацією (до 20% ємності), зменшення кількості діатоміту під час фільтрації з допоміжними матеріалами (до 5%).

«SEFAR», відомий французький виробник фільтрувальних тканин, стверджує [33], що в процесі вологої фільтрації, під час відокремлення рідини від дрібних часточок

твердої фази розміром менше 10 мкм, ефективність використання монофіломентних тканин значно знижується. Тканини для фільтрування суспензій цукрового виробництва, що складаються з дрібних часток, повинні мати наступні характеристики [26, 33]: дуже дрібні пори (менше 10 мкм); однакові розміри і розподіл пор; відсутність забивання пор (збереження ефективності); легке видалення осаду з поверхні; висока стабільність параметрів; довговічність; ефективне очищення тканини (регенерація). Каландрована фільтрувальна тканина на основі мультифіломентних волокон відповідає всім цим вимогам.

Експлуатаційні властивості фільтрувальних тканин включають: хороше затримання часточок твердої фази, легке видалення осаду і хорошу регенерацію тканини; достатню механічну міцність; стійкість до хімічної дії речовин, що розділяються; термостійкість за температури фільтрування; пружність – здатність відновлювати і зберігати свої властивості після розтягування за регенерації; тканина має не набухати під час контакту з рідкою фазою суспензії і промивною рідиною.

Нами було узагальнено основні фізико-механічні характеристики фільтрувальної тканини, від яких залежать її експлуатаційні властивості [1-34]. Основні фізико-механічні характеристики фільтрувальної тканини, які впливають на її експлуатаційні властивості, включають наступне: тип полімеру, з якого виготовлені нитки або пряжа; структура ниток; структура переплетіння; механічні характеристики (міцність, еластичність, пружність, стійкість до стирання); термостійкість; хімічна стійкість до суспензії; гідравлічний опір (повітро- і водопроникність); стійкість до змін величини тиску; стійкість до інкрустації осадом на поверхні і всередині фільтрувальної тканини; стійкість до адгезійного налипання; стійкість до механічного вклинювання часточок суспензії в структуру фільтрувальної тканини; електризованість; коефіцієнт усадки; надійність швів на шитих фільтрувальних виробках; відповідність розмірів елементів фільтра, таких як рамка, сектор, патрон і барабан, та розмірів пошитого виробу з фільтрувальної тканини.

Оскільки фільтрувальні тканини мають різні властивості, які залежать від їхньої структури і матеріалу, з якого вони виготовлені, ми узагальнили ступінь впливу основних характеристик фільтрувальних тканин на їх вибір у таблиці 2 [1-34].

Таблиця 2

Ступінь впливу основних характеристик фільтрувальних тканин на їх вибір

Основні характеристики	Якість розділення суспензії	Продуктивність фільтра	Термін експлуатації
Матеріал, з якого виробляється тканина	Значна	Незначна	Значна
Характеристики міцності тканини	Незначна	Незначна	Значна
Стійкість до стирання і перетирання ниток тканини	Незначна	Незначна	Основна
Пористість (повітропроникність і водопроникність)	Основна	Основна	Значна
Скидання осаду (регенерація)	Значна	Основна	Значна
Хімічна стійкість до фільтрованого середовища	Основна	Не впливає	Основна
Стійкість до температури процесу	Основна	Не впливає	Основна
Адгезійні властивості матеріалу тканини	Значна	Значна	Значна
Поверхнева щільність тканини	Незначна	Не впливає	Не впливає
Додаткова обробка тканини	Значна	Значна	Значна

Висновки. Таким чином виробники фільтрувальних тканин повинні постійно вдосконалювати свою продукцію з метою оптимізації і поліпшення якості процесу фільтрації, оскільки цей процес є важливою частиною сучасної технології виробництва цукру.

Згідно з результатами нашого моніторингового дослідження, фільтрувальні тканини нового покоління повинні мати такі фізико-механічні характеристики, як підвищена еластичність, пружність і гладка одностороння робоча поверхня.

У процесі розроблення фільтрувальних тканин необхідно враховувати такі фактори, як реакцію середовища (кисле/лужне), температуру процесу, робочий тиск, в'язкість суспензії, що розділяється, характеристики фільтрованих систем і їхніх фаз (рідка, тверда), дисперсний склад твердих часточок і їх питома поверхня, тип і технологічний режим роботи фільтрувального обладнання.

За дотримання вищезазначених вимог фільтрувальні тканини забезпечуватимуть високі експлуатаційні показники, що гарантуватимуть: відмінну якість фільтрації, високу продуктивність і довший термін експлуатації.

Окрім цього, щоб вибрати правильний тип фільтрувальної тканини для цукрового заводу, потрібно знати такі аспекти як: тип фільтрувального обладнання заводу; площа поверхні фільтрації і добова продуктивність; якісні показники соку, що очищується; параметри процесу фільтрації; мету виробництва (покращити якість цукру, знизити втрати цукру, зменшити кількість поточних ремонтів, підвищити продуктивність станції фільтрації, тощо).

Бібліографія

1. Пушанко Н.Н., Лагода В.А., Шурбований В.Н., Пушанко Н.Н., Хомичак Л.М., Запольский А.К. Теория и практика разделения суспензий в свеклосахарном производстве: монография., Кн. 1. Образование суспензий и их свойства. Киев: Изд-во "Сталь", 2017. 542 с.
2. Воробьев Е.И., Аникеев Ю.В. Совершенствование фильтровальной техники пищевых производств. Киев: Урожай, 1989. 136 с.
3. Пушанко Н.Н., Лагода В.А., Шурбований В.Н., Пушанко Н.Н., Хомичак Л.М., Запольский А.К., Стычинский Е.В. Теория и практика разделения суспензий в свеклосахарном производстве: монография., Кн. 2. Процессы разделения суспензий. Киев: Изд-во "Сталь", 2019. 671 с.
4. Ярчук М. М., Калініченко М. Ф., Чупахіна В. П. та ін. Правила ведення технологічного процесу виробництва цукру з цукрових буряків. Правила усталеної практики (ПУП) 15.83 37-106:2007. Київ: Видавництво ТОВ «Інформаційно-аналітичний центр «Цукор України», 2007. 420 с.
5. Zerin I., Datta E. A Review Article on Applications of Filter Cloth, International Journal of Clothing Science. 2018. 5, 1. P. 1–6. <https://doi.org/10.5923/j.clothing.20180501.01>.
6. Monofilament Filter Fabrics. Режим доступу: http://tandem-chemical.co.th/principles/sefar/pdf/tetex-mono_EN%5B1%5D.pdf
7. Polymeric microfibrillar filter sheet, preparation and use: Patent number 461712: A61L2/022 (EP,US); B01D39/163 (EP,US); C02F1/285 (EP,US); B01D2239/04 (EP,US); B01D2239/0421 (EP,US); B01D2239/0471 (EP,US); B01D2239/08 (EP,US); B01D2239/10 (EP,US); B01D2239/1216 (EP,US); B01D2239/1233 (EP,US); B01D2239/1291 (EP,US); № EP0099699B1; Application 07.07.1983; Publication 11.11.1987.
8. Grancarić A., Tarbuk A., Pušić T. Electrokinetic properties of textile fabrics. Coloration Technology. 2006. 121 (4). P. 221-227. <https://doi.org/10.1111/j.1478-4408.2005.tb00277.x>.
9. Sukumar R., Subrata G., Bhowmick N., Roychoudhury P. Study the effect of denier and fiber cut length on zeta potential of nylon and polyester fibers for sustain-able dyeing process. Journal of Environmental Research And Development. 2016. 11 (2). P. 392–397.
10. Хомичак Л.М. Совершенствование известковоуглекислотной очистки сока на основе изучения электроповерхностных свойств карбоната кальция: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.05 «Технология сахаристых веществ» / Хомичак Любомир Михайлович. Киев: КТИПП. 1985. 191 с.
11. Vyserchenko L., Tkachenko S., Sheiko T., Kos T., Dzhohan O., Vasuliv V. The Study of Calcium Hydroxide Structure and its Physico-Chemical and Electrokinetic Properties in Sugar Production. Chemistry & Chemical Technology. 2019. 13. P. 477–481. <https://doi.org/10.23939/chcht13.04.477>.
12. Хомічак Л. М. Наукове обґрунтування та розроблення способів очищення дифузійного соку: дис. ... д-ра техн. наук : 05.18.05 «Технологія цукристих речовин» / Хомічак Любомир Михайлович. Київ. НУХТ, 2003. 447 с.
13. Кухар В. Н., Чернявский А. П., Малек Я., Навратил З., Чернявская Л. И. Особенности фильтрования и обессахаривания суспензии сока I сатурации на пресс-фильтрах. Цукор України. 2015. 6/7 (114/115). С. 57–58.

14. Класифікація, властивості та галузі застосування текстильних матеріалів.
<https://www.tvmm-com.kiev.ua/cgi-bin/myAccount/myAccount.cgi?action=dp&vs=2/scId=6&p=pDb&pDbId=11>
15. Тканини для фільтрації. <https://www.oogrou.com/product-page/%D1%84%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%B%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B5-%D1%82%D0%BA%D0%B0%D0%BD%D0%B8-%D1%82%D0%BA%D0%B0%D0%BD%D0%B8-%D0%B4%D0%BB%D1%8F-%D1%84%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8>
16. Фільтрувальна лавсанова тканина. <https://kirpi4ik.com.ua/filtruvalna-lavsanova-tkanina-tkanina-lavsanova-fl-4/>
17. Технічна енциклопедія TechTrend. Поліпропіленова нитка.
<https://techtrend.com.ua/index.php?newsid=14812>.
18. Волокна й їхня класифікація. <https://docplayer.net/40082737-1-1-volokna-y-yihnya-klasifikaciya.html>
19. Класифікація, асортимент і властивості текстильних волокон, пряжі і ниток.
<https://zlotystudent.com.ua/klasifikaciya-asortiment-i-vlastivosti-tekstilnix-volokon-pryazhi-i-nitok/>
20. PTFE fibres based technical yarns and fabrics for UV. <https://imattec.com/en/ptfe.php>
21. Changzhou Xin Zhanjiang. <https://czxinzhanjiang.com/>
22. Special Fibre Manufacturer. https://www.senyu.cn/products.html?gclid=CjwKCAiA-vOsBhAAEiwAIWR0TS16xm5gDvumWXjpsfs8WRHAoYlzGxWheaVhe1tcMNYPba1T0Cp02RoC2MgQAvD_BwE
23. Слізков А. М., Якубовська Т. О., Рибальченко В. В., Дрегуляс Є. П., Крижанівська О. П. Основи технологій прядильних виробництв. Підручник. Київ: КНУТД, 2007. 424 с.
24. Супрун Н. П., Шустов Ю. С. Основи текстильного матеріалознавства: підручник для студ. вищих навч. закладів. Київ: КНУТД, 2009. 293 с
25. Chattopadhyay R. Introduction: types of technical textile yarn, Editor(s): R. Alagirusamy, A. Das. In Woodhead Publishing Series in Textiles, Technical Textile Yarns, Woodhead Publishing. 2010. P. 3–55. <https://doi.org/10.1533/9781845699475.1.3>.
26. Буассьер Д. Сахарное производство. Организация сахарной промышленности во Франции. Франко-Український семінар: «Цукрова промисловість. Досвід французьких виробників цукру»: матеріали франко-українського семінару, 1 липня 1998 р. Київ: Будинок профспілок, 1998. 200 с.
27. Horrocks A. R., Anand S. C. Handbook of Technical Textiles. Second Edition. Cambridge, UK: Woodhead Publishing Series in Textiles, 2016. 559 p.
28. Фільтрувальна тканина з гладкою поверхнею: патент на винахід 66943 Україна: МПК B01D39/08, D03D15/00; № u 2002031747; заявл. 01.03.2002; опубл. 15.06.2004, Бюл. № 6.
29. Фільтрувальна тканина з гладкою поверхнею: патент на корисну модель 13071 Україна: МПК B01D39/08, D03D15/00; № u 200508743; заявл. 14.09.2005; опубл. 15.03.2006, Бюл. №3.
30. Защепкіна Н. М., Дрегуляс Е. П., Конахевич Н. Р. Аналіз розвитку виробництва фільтрувальних матеріалів. Вісник Хмельницького національного університету. 2013. № 3. С. 87–89.
31. Матеріалознавство швейного виробництва.
<https://subjectum.eu/technology/clothing/70.html>.
32. Пелик Л. В. Вплив термічного оброблення на механічні властивості фільтрувальних текстильних матеріалів. Легка промисловість. 2010. № 4. С. 37–39.
33. Multifilament and Staple Fiber Filter Fabrics. http://tandem-chemical.co.th/principles/sefar/pdf/tetex-multi_EN%5B1%5D.pdf.
34. Пелик Л. В. Зношування фільтрувальних текстильних матеріалів та його вплив на зміну механічних властивостей. Вісник Хмельницького національного університету. 2012. № 2. С. 138–141.

References

1. Pushanko, N. N., Lagoda, V. A., Shurbovanii, V. N., Pushanko, N. N., Khomichak, L. M., Zapolskii A. K. (2017). Teoriya i praktika razdeleniya suspenzii v sveklosakharnom proizvodstve: monografiya., Kn. 1. Obrazovanie suspenzii i ikh svoistva. [Theory and practice of suspension separation in sugar-beet production: monograph., Book 1: Suspension formation and their properties]. Kiev: Publishing House "Steel". 542 p. [in Ukrainian].
2. Vorobev, Ye. I., Anikeev, Yu. V. (1989). Sovershenstvovanie filtrovalnoi tekhniki pishchevikh proizvodstv [Improvement of filtering technology of food production facilities]. Kiev: Urozhay. 136 p. [in Ukrainian].
3. Pushanko, N. N., Lagoda, V. A., Shurbovanii, V. N., Pushanko, N. N., Khomichak, L. M., Zapolskii, A. K., Stichinskii, Ye. V. (2019). Teoriya i praktika razdeleniya suspenzii v sveklosakharnom proizvodstve: monografiya., Kn. 2. Protsessi razdeleniya suspenzii [Theory and practice of suspension separation in sugar-beet production: monograph., Book 2. Processes of suspension separation]. Kiev: Publishing House "Steel". 671 p. [in Ukrainian].

4. Yarchuk, M. M., Kalinichenko, M. F., Chupakhina, V. P. ta in. (2007). Pravyla vedennia tekhnolohichnoho protsesu vyrobnytstva tsukru z tsukrovyykh buriakiv. Pravyla ustalenoï praktyky PUP 15.83 37-106:2007 [Rules for the technological process of sugar production from sugar beet. Rules of established practice (REP) 15.83 37-106:2007]. TOV «Informatsiino-analitychnyi tsentr «Tsukor Ukrainy» [Sugar Ukraine Information and Analytical Center LLC]. Kyiv. 420 p. [in Ukrainian].
5. Zerin, I., Datta, E. (2018). A Review Article on Applications of Filter Cloth, International Journal of Clothing Science. 5, 1. P. 1–6. <https://doi.org/10.5923/j.clothing.20180501.01>.
6. Monofilament Filter Fabrics. http://tandem-chemical.co.th/principles/sefar/pdf/tetex-mono_EN%5B1%5D.pdf.
7. Polymeric microfibrillar filter sheet, preparation and use (1983): Patent number 461712: A61L2/022 (EP,US); B01D39/163 (EP,US); C02F1/285 (EP,US); B01D2239/04 (EP,US); B01D2239/0421 (EP,US); B01D2239/0471 (EP,US); B01D2239/08 (EP,US); B01D2239/10 (EP,US); B01D2239/1216 (EP,US); B01D2239/1233 (EP,US); B01D2239/1291 (EP,US); № EP0099699B1; Application 07.07.1983; Publication 11.11.1987.
8. Grancarić, A., Tarbuk, A., Pušić, T. (2006). Electrokinetic properties of textile fabrics. Coloration Technology. 121 (4). P. 221–227. <https://doi.org/10.1111/j.1478-4408.2005.tb00277.x>
9. Sukumar, R., Subrata, G., Bhowmick, N., Roychoudhury, P. (2016). Study the effect of denier and fiber cut length on zeta potential of nylon and polyester fibers for sustain-able dyeing process. Journal of Environmental Research And Development. 11 (2). P.392–397.
10. Khomichak, L. M. (1985). Sovershchenstvovanie izvestkovouglekislotoi ochistki soka na osnove izucheniya yelektropoverkhnostnykh svoystv karbonata kaltsiya: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.18.05 «Tekhnologiya sakharistik veshchestv» [Improvement of lime-carbonic acid purification of juice on the basis of the study of electrosurface properties of calcium carbonate: dissertation. Candidate of Technical Sciences: 05.18.05 "Technology of sugar substances".] / Khomichak Lyubomir Mikhailovich. Kiev: KTIFF. 191 p. [in Ukrainian].
11. Vyerchenko, L., Tkachenko, S., Sheiko, T., Kos, T., Dzhohan, O., Vasuliv, V. (2019). The Study of Calcium Hydroxide Structure and its Physico-Chemical and Electrokinetic Properties in Sugar Production. Chemistry & Chemical Technology. 13. P. 477–481. <https://doi.org/10.23939/chcht13.04.477>
12. Khomichak, L. M. (2003). Naukove obhruntuvannia ta rozroblennia sposobiv ochyshchennia dyfuziinoho soku: dys. ... d-ra tekhn. nauk : 05.18.05 «Tekhnolohiia tsukrystykh rehovyn» [Scientific substantiation and development of methods for purification of diffusion juice: dissertation. ... Dr. Sci: 05.18.05 "Technology of sugary substances"] / Khomichak Liubomyr Mykhailovych. Kyiv. NUFT. 447 p. [in Ukrainian].
13. Kukhar, V. N., Cherniavskiy, A. P., Malek, Ya., Navratyl, Z., Cherniavskaia, L. I. (2015). Osobennosti filtrovaniya i obessakharivaniya suspenzii soka I saturatsii na press-filtrakh [Peculiarities of filtration and desugaring of juice suspension of I saturation on press filters]. Tsukor Ukrainy [Sugar of Ukraine]. 6/7 (114/115). P. 57–58. [in Ukrainian].
14. Klasyfikatsiia, vlastyvoli ta haluzi zastosuvannia tekstylnykh materialiv [Classification, properties and applications of textile materials]. <https://www.tvm-com.kiev.ua/cgi-bin/myAccount/myAccount.cgi?action=dp&vs=2/scId=6&p=pDb&pDbId=11>.
15. Tkanyny dlia filtratsii [Fabrics for filtration]. <https://www.ooogrout.com/product-page/%D1%84%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%B%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B5-%D1%82%D0%BA%D0%B0%D0%BD%D0%B8-%D1%82%D0%BA%D0%B0%D0%BD%D0%B8-%D0%B4%D0%BB%D1%8F-%D1%84%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8>
16. Filtruvalna lavsanova tkanyna [Filter lavsan cloth]. <https://kirpi4ik.com.ua/filtruvalna-lavsanova-tkanina-tkanina-lavsanova-fl-4/>.
17. Tekhnichna entsyklopediia TechTrend. Polipropilenova nytko [Tekhnichna entsyklopedia TechTrend. Polypropylene thread]. <https://techtrend.com.ua/index.php?newsid=14812>.
18. Volokna y yikhnia klasyfikatsiia [Fibers and their classification]. <https://docplayer.net/40082737-1-1-volokna-y-yihnya-klasifikaciya.html>.
19. Klasyfikatsiia, asortyment i vlastyvoli tekstylnykh volokon, priazhi i nytok [Classification, range and properties of textile fibers, yarns and threads]. <https://zlotystudent.com.ua/klasifikaciya-asortiment-i-vlastyvoli-tekstilnix-volokon-priazhi-i-nitok/>.
20. PTFE fibres based technical yarns and fabrics for UV. <https://imattec.com/en/ptfe.php>.
21. Changzhou Xin Zhanjiang <https://czxinzhanjiang.com/>.
22. Special Fibre Manufacturer. https://www.senyu.cn/products.html?gclid=CjwKCAiA-vOsBhAAEiwAIWR0TS16xm5gDvumWXjpsfs8WRHAoYlzGxWheaVhe1tcMNPb1T0Cp02RoC2MgQAvD_BwE
23. Slizkov, A. M., Yakubovska, T. O., Rybalchenko, V. V., Drehulias, Ye. P., Kryzhanivska, O. P. (2007). Osnovy tekhnolohii priadylnykh vyrobnytstv. Pidruchnyk [Fundamentals of spinning production technologies. Textbook]. Kyiv: KNUTD. 424 p. [in Ukrainian].
24. Suprun, N. P., Shustov, Yu. S. (2009). Osnovy tekstylnoho materialoznavstva: pidruchnyk dlia stud. vyshchykh navch. zakladiv [Fundamentals of textile materials science: a textbook for students of higher educational institutions]. Kyiv: KNUTD. 293 p. [in Ukrainian].

25. Chattopadhyay, R. (2010). 1 – Introduction: types of technical textile yarn, Editor(s): R. Alagirusamy, A. Das. In Woodhead Publishing Series in Textiles, Technical Textile Yarns, Woodhead Publishing. P. 3–55. <https://doi.org/10.1533/9781845699475.1.3>.
26. Buasser, D. (1998). Sakharne proizvodstvo. Organizatsiya sakharnoi promishlennosti vo Frantsii [Sugar production. Organization of the sugar industry in France]. Franko-Ukrainskyi seminar: «Tsukrova promyslovist. Dosvid frantsuzkykh vyrobnykiv tsukru»: materialy franko-ukrainskoho seminaru [French-Ukrainian seminar: "Sugar industry. Experience of French sugar producers": materials of the French-Ukrainian seminar], July 1, 1998. Kyiv: House of Trade Unions. 200 p. [in Ukrainian]
27. Horrocks, A. R., Anand, S. C. (2016). Handbook of Technical Textiles. Second Edition. Cambridge, UK: Woodhead Publishing Series in Textiles. 559 p.
28. Filtruvalna tkanyna z hladkoiu poverkhneiu [Filter cloth with smooth surface] (2004): patent na vynakhid 66943 Ukraina [patent number 66943 Ukraine]: МПК B01D39/08, D03D15/00; №2002031747; application 01.03.2002; publication 15.06.2004, Bulletin №6. [in Ukrainian].
29. Filtruvalna tkanyna z hladkoiu poverkhneiu [Filter cloth with smooth surface] (2006): patent na korysnu model 13071 Ukraina [utility model patent number 13071 Ukraine]: МПК B01D39/08, D03D15/00; №200508743; application 14.09.2005; publication 15.03.2006, Бюл. № 3. [in Ukrainian].
30. Zashchepkina, N. M., Drehulias, E. P., Konakhevykh, N. R. (2013). Analiz rozvytku vyrobnytstva filtruvalnykh materialiv [Analysis of the development of filter materials production]. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu [Bulletin of Khmelnytsky National University]. № 3. P. 87–89. [in Ukrainian].
31. Materialoznavstvo shveinoho vyrobnytstva [Material science of sewing production]. <https://subjectum.eu/technology/clothing/70.html>.
32. Pelyk, L. V. (2010). Vplyv termichnoho obroblennia na mekhanichni vlastyvyosti filtruvalnykh tekstylnykh materialiv [Effect of heat treatment on mechanical properties of filter textile materials]. Lehka promyslovist [Light industry]. № 4. P. 37–39. [in Ukrainian].
33. Multifilament and Staple Fiber Filter Fabrics. http://tandem-chemical.co.th/principles/sefar/pdf/tetex-multi_EN%5B1%5D.pdf.
34. Pelyk, L. V. (2012) Znosuvannia filtruvalnykh tekstylnykh materialiv ta yoho vplyv na zminu mekhanichnykh vlastyvostei [Wear and tear of filter textile materials and its influence on changes in mechanical properties]. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu [Bulletin of Khmelnytsky National University]. № 2. P. 138–141. [in Ukrainian].