

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**Кучеренко Єлизавета Володимирівна**

УДК 677.494

**ДИСЕРТАЦІЯ**

**РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ОДЕРЖАННЯ ВИСОКОЕЛАСТИЧНИХ  
ВОЛОКНИСТИХ МАТЕРІАЛІВ ІЗ ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ**

161 – хімічні технології та інженерія

16 – хімічна та біоінженерія

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_ Є.В. Кучеренко

Науковий керівник **Плаван Вікторія Петрівна**, доктор технічних наук, професор

Київ – 2020

## АНОТАЦІЯ

*Кучеренко Є.В.* Розробка технології одержання високоеластичних волокнистих матеріалів із вторинної сировини – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 161 – хімічні технології та інженерія. Київський національний університет технологій та дизайну, Київ, 2020.

Дисертацію присвячено актуальній проблемі розширення асортименту нетканих матеріалів із суміші хімічних волокон для виробів різного призначення, зокрема для одержання високоеластичних матеріалів для теплоізоляції об'єктів складної геометричної форми.

Розширення сировинної бази текстильної промисловості в поєднанні з обмеженим обсягом випуску і високою вартістю натуральної сировини, постійне підвищення вимог споживачів до якості та різноманітності текстильної продукції, а також конкуренція з боку зарубіжних фірм-виробників змушують вітчизняні підприємства шукати шляхи підвищення ефективності виробництва за рахунок повторного використання відходів текстильних матеріалів і хімічних волокон при створенні матеріалів нового асортименту.

Одним з основних шляхів розширення і оновлення асортименту текстильних матеріалів є поєднання в їх складі різних за властивостями видів сировини, зокрема вторинної. Джерелом вторинної волокнистої сировини для виробництва нетканих матеріалів можуть бути промислові відходи, які накопичуються при виготовленні різних типів комбінованих ниток. Їх перевагою є відомий склад, відсутність забруднень та можливість повторної переробки в готовий продукт із мінімальними затратами для попередньої підготовки.

Для визначення сфери застосування нових нетканих матеріалів, виготовлених із промислових відходів хімічних волокон, актуальним є дослідження їх фізико-механічних характеристик, теплофізичних властивостей, текстурних показників.

Таким чином, актуальність роботи обумовлена необхідністю розширення асортименту нетканих матеріалів із суміші хімічних волокон на основі промислових волокнистих відходів для виробів різного призначення, зокрема для одержання

високоеластичних матеріалів для теплоізоляції об'єктів складної геометричної форми.

В дисертаційній роботі вирішене важливе науково-прикладне завдання отримання нетканих матеріалів з регульованими властивостями із суміші хімічних волокон на основі промислових волокнистих відходів.

Наукова новизна роботи полягає у встановленні впливу хімічного складу, співвідношення волокнистих компонентів та методів скріплення полотен на зміну фізико-механічних, текстурних та теплофізичних властивостей нетканих матеріалів на основі відходів комплексних хімічних волокон складу поліуретан/поліамід-6,6 (ПУ/ПА-6,6) при додаванні різних типів та кількості природних (льон, конопель, бамбук, бавовна) і синтетичних (поліетилентерефталат (ПЕТФ), поліетилен низької густини (ПЕНГ), поліетилентерефталат/поліетилен високої густини (ПЕТФ/ПЕВГ)) волокон, зокрема для одержання високоеластичних матеріалів для теплоізоляції об'єктів складної геометричної форми.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що вперше запропоновано спосіб переробки відходів хімічних волокон для одержання високоеластичних нетканих матеріалів. Використання природних волокон льону, конопель, бамбуку, бавовни як додаткового компонента у складі нетканих матеріалів на основі ПУ/ПА-6,6 волокон дозволяє отримувати ізоляційні матеріали для автомобільної, будівельної, текстильної, взуттєвої промисловостей.

Розроблено методологічний підхід побудови двовимірних векторних моделей нетканих композиційних матеріалів з керованим характером розподілу окремих структурних елементів. Показана адекватність таких моделей для визначення ступеня орієнтації волокон в матеріалі методом аналізу зображень.

Визначено структурні особливості нетканих матеріалів на основі волокнистих відходів комплексних ниток ПУ/ПА-6,6 за різного співвідношення компонентів. Показано, що найвищі показники текстурної однорідності мають зразки матеріалів, що вміщують 25% клейових ПЕВГ та ПЕНГ/ПЕТФ волокон.

Розроблено технологічну схему та визначені параметри одержання голкопробивних нетканих матеріалів на основі волокнистих відходів ПУ/ПА-6,6.

Визначені деформаційні характеристики при стисканні та розтягуванні в циклі навантаження-розвантаження для нетканих матеріалів на основі волокнистих відходів ПУ/ПА-6,6, що дає можливість регулювання їх еластичних властивостей в широких межах.

Визначено вплив хімічного складу та співвідношення волокнистих компонентів на показник гігроскопічності голкопробивних нетканих матеріалів. Доведено, що додавання у вихідну суміш до 20 мас.% як волокон ПЕТФ так і льону несуттєво впливає на показник водопоглинання нетканих матеріалів на основі ПУ/ПА-6,6. В той же час використання до 50 мас.% природних волокон льону, як додаткового компоненту, дозволяє одержати нетканий матеріал із достатньо низьким коефіцієнтом теплопровідності та меншою поверхневою щільністю.

Розроблено схему процесу та визначені параметри технологічного режиму виготовлення термоскріплених нетканих матеріалів на основі волокнистих відходів (ПУ/ПА-6,6). Показано, що використання термоскріплення для нетканого матеріалу складу (ПУ/ПА-6,6)/(ПЕНГ/ПЕТФ) (80/20) забезпечує зростання його відносної міцності (в порівнянні з голкопробивним зразком)  $\sim$  у 3 рази при збільшенні (до 64%) розривного видовження.

Доведено, що додавання у вихідну суміш волокон ПЕТФ дозволяє підвищити відносну міцність нетканих матеріалів (у 12-15 разів) в порівнянні з вихідним зразком (ПУ/ПА-6,6). Найбільшою міцністю (33,1 Н·м/г) характеризуються зразки (ПУ/ПА-6,6)/ПЕТФ складу 60/40 мас.%. Збільшення кількості волокон ПЕТФ до 50% призводить до нелінійного зростання розривного видовження нетканого матеріалу майже на 30%. Доведено, що додавання льону у вихідну суміш є менш ефективним з точки зору забезпечення зростання відносної міцності матеріалу. Зростання відносної міцності на 10% демонструють зразки складу (ПУ/ПА-6,6)/Льон 90/10 мас.%.

Запропонована та реалізована методика визначення текстурних характеристик голкопробивних та термоскріплених нетканих матеріалів з використанням різних алгоритмів заснованих на методі аналізу зображень (Патент України на корисну модель, ліцензійний договір № 5-19 про продаж не виключної ліцензії на використання корисної моделі за патентом. 24.07.2019 р.).



Встановлено лінійний кореляційний взаємозв'язок між текстурними показниками та фрактальною розмірністю для нетканих волокнистих матеріалів на основі (ПУ/ПА-6,6) з різною кількістю клейових волокон. Доведено, що додавання у вихідну волокнисту суміш ПУ/ПА-6,6 волокон ПЕТФ зменшує, а волокон льону збільшує показник фрактальної розмірності нетканих матеріалів. При цьому найвищу однорідність демонструє зразок матеріалу (ПУ/ПА-6,6)/ПЕТФ складу 80/20 мас. %.

Встановлено, що використання до 50 мас. % природних волокон льону і конопель дозволяє одержати нетканий матеріал із достатньо низьким коефіцієнтом теплопровідності та меншою поверхневою щільністю, що разом із низькою гігроскопічністю і достатньою міцністю забезпечує можливість використання цих матеріалів для теплоізоляції об'єктів складної геометричної форми. Розроблений асортимент високоеластичних нетканих матеріалів на основі комбінованих ниток ПУ/ПА-6,6 у комбінації з природними волокнами пропонується використовувати у якості ізоляційного матеріалу для автомобільної, будівельної, текстильної та взуттєвої промисловостей.

Результати досліджень впроваджені в навчальний процес підготовки фахівців за спеціальністю 161 – хімічні технології та інженерія, за освітньою програмою «Хімічні технології та дизайн волокнистих систем» на кафедрі прикладної екології, технології полімерів і хімічних волокон КНУТД, використовуються при підготовці курсових, дипломних робіт, кваліфікаційних робіт магістрів.

**Ключові слова:** хімічні волокна, неткані матеріали, волокнисті відходи, поліуретан, поліамід, теплопровідність, термоскріплення, голкопробивання, природні волокна.

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

1. Budash Yu., Kucherenko Ye., Plavan V. The evolution of the microstructure of cane cellulose microfibrils during cold caustic extraction. *Fibres and Textiles*, 2018, 4, с.8-12.
2. Кучеренко Є. В., Будащ Ю. О., Плаван В. П., Литвинова О. І. Одержання та властивості нетканих матеріалів із волокнистих відходів. *Вісник КНУТД. Технічні науки*. 2016, 4 (100), с. 99-106.

3. Будащ Ю. О., Кучеренко Є. В., Матрофайло М. М., Плаван В. П. Отримання екобезпечних мікрофібрилярних наповнювачів з недеревної сировини. *Вісник КНУТД. Технічні науки*. 2016, 5 (102), с. 134-140.
4. Кучеренко Є. В., Будащ Ю. О., Плаван В. П., Литвинова О. І. Регулювання фізико-механічних властивостей нетканих матеріалів на основі волокнистих відходів. *Вісник КНУТД. Технічні науки*. 2017, 4 (112), с. 142-147.
5. Кучеренко Є. В., Будащ Ю. О., Плаван В. П., Феценко Я. В., Верейко О. І. Порівняльний аналіз розмірних характеристик недеревних волокон різної природи. *Вісник КНУТД. Технічні науки*. 2018, 1 (118), с. 43-50.
6. Будащ Ю. О., Кучеренко Є. В., Плаван В. П., Создана В. О. Вплив процесу механічної переробки природних волокон на їх розмірні характеристики. *Вісник ХНУ. Технічні науки*. 2018, 6 (267), с. 115-120.
7. Кучеренко Є. В., Плаван В. П., Будащ Ю. О., Романюк О. О. Аналіз теплофізичних властивостей волокнистих нетканих матеріалів різного складу. *Вісник КНУТД. Технічні науки*. 2019, 3 (134), с. 94-101.
8. Пат. 117285, МПК G06T 7/40 (2017.01), G01N 21/27 (2006.01) Спосіб оцінки текстурної неоднорідності композиційного матеріалу / Будащ Ю. О., Кучеренко Є. В., Плаван В. П. (UA); заявник і патентовласник - Київський національний університет технологій та дизайну (UA). -№ u201613179; заявл. 23.12.2016; опубл. 26.06.2017, Бюл. № 12, 2017 р.
9. Kucherenko Ye., Budash Yu., Plavan V., Shevtsova D., Horbatenko M. Manufacturing and properties of nonwovens based on waste from elastic fibers. *Advanced Materials and Systems*, Proceedings of The 7<sup>th</sup> International Conference, Bucharest, Romania, October 18-20, 2018; edited by Luminița Albu, Viorica Deselnicu, 2018; p. 343-348.
10. Кучеренко Є. В., Будащ Ю. О., Плаван В. П. Отримання сорбентів на основі відходів волокнистих матеріалів та дослідження їх властивостей, *Наукові розробки молоді на сучасному етапі*, Тези доповідей XV Всеукраїнської наукової конференції молодих учених та студентів. Т. 1, Київ, Україна, 28-29 квітня, 2016; КНУТД: Київ, 2016; с. 290-291.

11. Кучеренко Є. В., Будащ Ю. О., Плаван В. П. Властивості високоеластичних матеріалів, одержаних з волокнистих відходів, *Наукові розробки молоді на сучасному етапі*, Тези доповідей XVI Всеукраїнської наукової конференції молодих вчених та студентів. Т. 2, Київ, Україна, 27-28 квітня 2017; КНУТД: Київ, 2017; с. 448-449.
12. Budash Yu., Kucherenko Ye., Plavan V. The evolution of the microstructure of cane cellulose microfibrils during cold caustic extraction, *Chemical Fibres and Special Textiles*, 9<sup>th</sup> Central European Conference. Liberec, Czech Republic, Sept 11–13, 2017; pp. - 140.
13. Кучеренко Є. В., Плаван В. П. Властивості нетканих матеріалів, що вміщують природні волокна. *Наукові розробки молоді на сучасному етапі*, Тези доповідей XVII Всеукраїнської наукової конференції молодих вчених та студентів. Т. 2, Київ, Україна, 26-27 квітня 2018; КНУТД: Київ, 2018; с. 543-544.
14. Rezanova N. M., Budash Yu. O., Plavan V. P., Kucherenko Ye. V. Polymeric nanofilled composites with adjustable microfibrillary structure. *Nanotechnology and nanomaterials (NANO-2019)*, International research and practice conference, Lviv, Ukraine, Aug 27-30, 2019; Fesenko, O.; Lviv, Ukraine, 2019; pp. – 55.
15. Кучеренко Є. В., Плаван В. П., Будащ Ю. О. Регулювання релаксаційних властивостей нетканих матеріалів на основі ПУ/ПА-6,6 волокон. *Збірник наукових праць за матеріалами III (дистанційної) Міжнародної наукової конференції, Advanced Polymer Materials and Technologies*, Київ, Україна, квітень 14-15, 2020; Плаван, В. П., Ляшок І. О., Коляда М. К., Ред.; КНУТД, 2020; с. 70-72.

### **ABSTRACT**

*Kucherenko Ye.V.* Development of technology for obtaining the highly elastic fibrous materials from secondary raw materials - Qualifying scientific work as a manuscript.

Doctor of philosophy dissertation (specialty 161 - chemical technologies and engineering). Kyiv National University of Technology and Design, Kyiv, 2020.

The dissertation is devoted to the relevant problem of expanding the range of nonwovens from a mixture of chemical fibers for products of different purposes, in particular for obtaining highly elastic materials for thermal insulation of objects with complex geometric shape.

Expansion of the raw material base of the textile industry in combination with limited production and high cost of natural raw materials, constant increase in consumer demands for quality and variety of textile products, as well as competition from foreign manufacturers are forcing domestic companies to look for ways to improve production efficiency textile materials and chemical fibers when creating a new range of materials.

One of the main ways to expand and update the range of textile materials is to combine in their composition different properties of raw materials, including secondary. The source of secondary fibrous raw materials for the production of nonwovens can be industrial waste, which accumulates in the manufacture of various types of combined yarns. Their advantage is the known composition, the absence of contamination and the possibility of reprocessing into a finished product with minimal costs for pre-treatment.

To determine the scope of application of new nonwoven materials made from industrial waste chemical fibers, it is important to study their physical and mechanical characteristics, thermophysical properties, texture.

The urgency of the work is due to the need to expand the range of non-woven materials from a mixture of chemical fibers based on industrial fibrous waste for various purposes, in particular to obtain highly elastic materials for thermal insulation of complex geometric shapes.

In the dissertation work the important scientific and applied problem of obtaining nonwoven materials with adjustable properties from a mixture of chemical fibers on the basis of industrial fibrous waste is solved.

The scientific novelty of the work is to establish the influence of chemical composition, the ratio of fibrous components and methods of bonding to change the physical and mechanical, textural and thermophysical properties of nonwovens based on waste complex chemical fibers polyurethane/polyamide-6,6 (PU/PA-6,6) when adding different types and amounts of natural (flax, hemp, bamboo, cotton) and synthetic (polyethylene terephthalate) (PET), low density polyethylene (LDPE), polyethyleneterephthalate/high density polyethylene (PET/HDPE) fibers, in particular for materials for thermal insulation of objects of complex geometric shape.

The practical significance of the received results is that for the first time a method of processing chemical fiber waste to obtain of the highly elastic nonwovens has been proposed.

The use of natural fibers of flax, hemp, bamboo, cotton as an additional component in the composition of nonwoven materials based on PU/PA-6,6 fibers allows to obtain the insulating materials for the automotive, construction, textile and footwear industries.

A methodological approach to the construction of two-dimensional vector models of nonwoven composite materials with a controlled nature of the distribution of individual structural elements has been developed. The adequacy of such models for determining the degree of orientation of the fibers in the material by the method of image analysis is shown.

The structural features of nonwoven materials based on fibrous waste of complex threads PU/PA-6,6 at different ratios of components are determined. It is shown that the highest indicators of textural homogeneity have samples of materials containing 25% of adhesive HDPE and LDPE/PET fibers.

The technological scheme is developed and the parameters of obtaining needle-punched nonwoven materials on the basis of fibrous waste PU/PA-6,6 are determined. The deformation characteristics during compression and tension in the loading-unloading cycle for nonwoven materials based on fibrous waste PU/PA-6,6 are determined, which allows to regulate their elastic properties in a wide range.

The influence of chemical composition and ratio of fibrous components on the hygroscopicity index of needle-punched nonwoven materials is determined. It is proved that the addition to the initial mixture of up to 20 wt.% both PET fibers and flax has no significant effect on the water absorption of nonwoven materials based on PU/PA-6,6. At the same time, the use of up to 50 wt.% natural flax fibers as an additional component allows to obtain a nonwoven material with a sufficiently low thermal conductivity and lower surface density.

The scheme of process is developed and norms of a technological mode of manufacturing of thermobonded nonwoven materials on the basis of fibrous waste (PU/PA-6,6) are defined. It is shown that the use of thermal bonding for nonwoven fabric composition (PU/PA-6,6)/(PET/HDPE) (80/20) provides an increase in its relative strength (compared to the needle-punched sample) ~ 3 times with a slight (up to 64%) increase in elongation.

It is proved that the addition of PET fibers to the initial mixture allows to increase the relative strength of nonwoven materials (12-15 times) in comparison with the original sample (PU/PA-6,6). The highest strength (33.1 N·m/g) is characterized by samples (PU/PA-6,6)/PET

composition of 60/40 wt.%. Increasing the number of PET fibers to 50% leads to a nonlinear increase in the elongation of the nonwoven fabric by almost 30%. It is proved that the addition of flax to the initial mixture is less effective in terms of increasing the relative strength of the material. Increases in relative strength by 10% show samples of the composition (PU/PA-6,6)/Flax 90/10 wt.%.

A method for determining the textural characteristics of needle-punched and heat-bonded nonwovens using various algorithms based on the method of image analysis (Patent of Ukraine for a utility model, license agreement № 5-19 on the sale of a non-exclusive license for the use of a utility model under a patent. 07/24/2019) is proposed and implemented.

A linear correlation between textural parameters and fractal dimension for nonwoven fibrous materials based on (PU/PA-6,6) with different amounts of adhesive fibers has been established. It is proved that the addition of PET fibers to the initial fibrous mixture of PU/PA-6,6 reduces, and flax fibers increase the fractal dimension of nonwoven materials. The highest homogeneity is shown by a sample of material (PU/PA-6,6)/PET composition of 80/20 wt.%.

It is established that the use of up to 50 wt.% natural flax and hemp fibers allows to obtain nonwoven material with a sufficiently low thermal conductivity and lower surface density, which together with low hygroscopicity and sufficient strength provides the possibility of using these materials for thermal insulation of complex geometric shapes. The developed range of highly elastic non-woven materials based on combined threads PU/PA-6,6 in combination with natural fibers is proposed to be used as an insulating material for the automotive, construction, textile and footwear industries.

The research results introduced into the educational process of training the specialists in the specialty 161 - chemical technology and engineering, the educational program "Chemical technology and design of fibrous systems" at the Department of Applied Ecology, Technology of Polymers and Chemical Fibers KNUTD are used in the preparation of term papers, dissertations, master's theses.

**Key words:** chemical fibers, nonwovens, fibrous waste, polyurethane, polyamide, thermal conductivity, thermal bonding, needle punching, natural fiber.

## ЗМІСТ

	АНОТАЦІЯ	2
	ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ	13
	ВСТУП	14
РОЗДІЛ 1.	АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ ОДЕРЖАННЯ ВИСОКОЕЛАСТИЧНИХ НЕТКАНИХ МАТЕРІАЛІВ ІЗ ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ	22
1.1.	Класифікація та методи отримання волокнистих нетканих матеріалів	22
1.2.	Особливості вибору волокнистої сировини при виготовленні високоеластичних нетканих матеріалів	26
1.3.	Особливості фізико-механічних властивостей нетканих матеріалів різного складу	28
1.4.	Сучасні тенденції розвитку виробництва нетканих матеріалів	31
РОЗДІЛ 2.	ОБ'ЄКТ, ПРЕДМЕТ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ	35
2.1.	Характеристика хімічних волокон, як предмету досліджень	35
2.2.	Методи дослідження	37
2.2.1.	Визначення розмірних характеристик недеревних природних волокон	37
2.2.2.	Визначення фізико-механічних характеристик нетканих матеріалів	38
2.2.3.	Визначення деформаційних властивостей голкопробивних нетканих матеріалів	40
2.2.4.	Визначення релаксаційних властивостей нетканих матеріалів при стисканні	44
2.2.5.	Визначення показників водопоглинання голкопробивних нетканих матеріалів	45
2.2.6.	Визначення показників паропроникності та вологопоглинання нетканих матеріалів	46
2.2.7.	Визначення теплофізичних характеристик нетканих матеріалів	47
РОЗДІЛ 3.	ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗМІРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИРОДНИХ ВОЛОКОН, ПРИЗНАЧЕНИХ ДЛЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ НЕТКАНИХ МАТЕРІАЛІВ	50
3.1.	Морфометричний аналіз різних видів недеревних волокон	50
3.2.	Аналіз впливу процесу механічного прочісування на розмірні характеристики природних волокон	53
3.3.	Моделювання структури композиційних нетканих матеріалів	65
РОЗДІЛ 4.	ВЛАСТИВОСТІ ГОЛКОПРОБИВНИХ НЕТКАНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ ВОЛОКНИСТИХ ВІДХОДІВ ПУ/ПА6,6	70

4.1.	Формування та визначення структурних особливостей нетканих матеріалів	70
4.2.	Фізико-механічні характеристики нетканих матеріалів різного складу	75
4.3.	Визначення релаксаційних характеристик нетканих матеріалів при розтягуванні	77
4.4.	Релаксаційні властивості нетканих матеріалів різного складу при стисканні	85
4.5.	Вплив складу нетканих матеріалів на показник водопоглинання	89
4.6.	Дослідження показників паропроникності та вологопоглинання нетканих матеріалів різного складу	90
4.7.	Теплофізичні характеристики нетканих матеріалів	93
4.8.	Технологічні особливості одержання голкопробивних нетканих матеріалів на основі волокнистих відходів ПУ/ПА-6,6	96
РОЗДІЛ 5.	ВЛАСТИВОСТІ ТЕРМОСКРІПЛЕНИХ НЕТКАНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ ВОЛОКНИСТИХ ВІДХОДІВ ПУ/ПА6,6	100
5.1.	Особливості одержання нетканих матеріалів методом термоскріплення	100
5.2.	Фізико-механічні властивості нетканих матеріалів, що містять різні типи та кількість клейових волокон	104
5.3.	Визначення текстурних характеристик термоскріплених нетканих матеріалів	107
5.4.	Технологічні особливості одержання термоскріплених нетканих матеріалів на основі волокнистих відходів ПУ/ПА-6,6	122
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	125
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	127
	ДОДАТОК А	138
	ДОДАТОК Б	139
	ДОДАТОК В	148



**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ**

ПУ – поліуретан

ПА-6,6 – поліамід 6,6

НМ – нетканий матеріал

БКТМ – багатошарові композиційні текстильні матеріали

Л – льон

К – конопля

Б – бамбук

ПЕТФ – поліетилентерефталат

ПЕ – поліетилен

ПЕНГ – поліетилен низької густини

ПЕВГ – поліетилен високої густини

$P_p$  – розривне навантаження, кгс

$l_p$  – абсолютне розривне подовження, мм

$\varepsilon_p$  – відносне розривне подовження, %

$l_y$  – пружна деформація

$l_e$  – еластична деформація

$l_n$  – пластична деформація

В – вологопоглинання, %

П – паропроникність, мг/см<sup>2</sup>·год

$C_p$  – питома масова ізобарна теплоємність, Дж/(кг·К)

$\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К)

$\rho$  – поверхнева щільність, г/м<sup>2</sup>

## ВСТУП

Розширення сировинної бази текстильної промисловості в поєднанні з обмеженим обсягом випуску і високою вартістю натуральної сировини, постійне підвищення вимог споживачів до якості та різноманітності текстильної продукції, а також конкуренція з боку зарубіжних фірм-виробників змушують вітчизняні підприємства шукати шляхи підвищення ефективності виробництва за рахунок створення нового асортименту матеріалів з використанням наявного і встановленого обладнання, повторного використання відходів текстильних матеріалів і хімічних волокон. Одним з основних шляхів розширення і оновлення асортименту текстильних матеріалів є поєднання в їх складі різних за властивостями видів сировини, зокрема вторинної.

Розробкою технологічних процесів одержання хімічних волокон та дослідженням їх властивостей, впровадженням розроблених технологій у виробництво займалась ціла низка вчених, зокрема широко відомі як в Україні так і за кордоном роботи професорів КНУТД Цебренко М.В., Ірклея В.М., Романкевича О.В. Розробці ресурсозберігаючих технологій отримання волокнистих матеріалів з поліпшеними властивостями присвячені роботи Н.М. Резанової, Н.П. Супрун, Ю.О. Будаша, В.І. Власенко.

У порівнянні з традиційними способами виробництва в текстильній промисловості (ткацтвом і прядінням) виробництво нетканих матеріалів (НМ) відрізняється простотою технології (скороченням числа технологічних стадій); меншими капітальними і трудовими витратами; різноманітністю асортименту матеріалів; можливістю раціонального використання вторинної сировини для зниження собівартості продукції.

Для виробництва нетканих матеріалів із суміші хімічних волокон можуть використовуватися мононитки і штапельні волокна як синтетичні (поліефірні, поліпропіленові, поліуретанові, поліамідні) так і природні (бавовняні, вовняні, лляні, конопляні, джутові, бамбукові).

Окремим класом волокнистої сировини для виробництва нетканих матеріалів є промислові відходи, які накопичуються при виробництві різних типів комбінованих

ниток. Їх перевагою є стале співвідношення складових компонентів, відсутність забруднень та можливість повторної переробки в готовий продукт із мінімальними затратами для попередньої підготовки.

Для визначення сфери застосування нових нетканих матеріалів, виготовлених із промислових відходів хімічних волокон, актуальним є дослідження їх фізико-механічних характеристик, теплофізичних властивостей, текстурних показників.

Таким чином, актуальність роботи обумовлена необхідністю розширення асортименту нетканих матеріалів із суміші хімічних волокон на основі промислових волокнистих відходів для виробів різного призначення, зокрема для одержання високоеластичних матеріалів для теплоізоляції об'єктів складної геометричної форми.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Дисертаційна робота відповідає напрямку науково-дослідної роботи кафедри прикладної екології, технології полімерів і хімічних волокон «Хімічні технології захисту навколишнього середовища: очистка стічних вод, переробка відходів підприємств легкої та хімічної промисловості, раціональне використання сировинних ресурсів» і виконана в рамках науково-дослідних робіт: 16.04.61 МВ ДБ «Розробка біометричних пакетів текстильних матеріалів та виробів для комплексного оцінювання тактико-технічних і фізичних властивостей речового майна військовослужбовців» (№ державної реєстрації 0117U007237), 16.04.64 ДБ «Фізико-хімічні закономірності процесів керованого структуроутворення в полімерних композиціях, модифікованих природними анізотричними нанонаповнювачами» (№ державної реєстрації 0119U000304).

**Мета і задачі дослідження.** Мета роботи – розробка технології одержання нетканих матеріалів з регульованими властивостями на основі промислових відходів хімічних волокон.

Для досягнення мети вирішувались такі завдання:

- аналіз існуючого асортименту нетканих матеріалів, областей їх застосування, критеріїв, що використовуються для оцінки їх якості;

- визначення структурних особливостей нетканих матеріалів на основі волокнистих відходів комплексних ниток поліуретан/поліамід-6,6 (ПУ/ПА-6,6) за різного співвідношення компонентів;
- дослідження впливу особливостей скріплення нетканих матеріалів на формування їх властивостей;
- визначення відмінностей у фізико-механічних властивостях нетканих матеріалів різного хімічного складу з введенням додаткового компоненту льону (Л) або поліетилентерефталату (ПЕТФ);
- визначення релаксаційних характеристик нетканих матеріалів різного хімічного складу;
- дослідження впливу хімічного складу та співвідношення волокнистих компонентів на показник водопоглинання голкопробивних нетканих матеріалів;
- розробка технологічних параметрів одержання нетканих матеріалів способом термоскріплення: визначення типу та кількості клейових волокон, умов термоскріплення та їх впливу на розмірні характеристики зразків і фізико-механічні властивості нетканих матеріалів;
- створення алгоритмів одержання нетканих матеріалів на основі відходів високоеластичних волокон та розробка рекомендацій щодо їх практичного застосування.

**Об'єкт дослідження:** процес одержання нетканих матеріалів з регульованими властивостями із суміші хімічних волокон на основі промислових волокнистих відходів.

**Предмет дослідження:** розробка технології одержання високоеластичних матеріалів із вторинної сировини.

#### **Методи дослідження.**

Для одержання нетканих матеріалів на основі відходів комплексних волокон складу ПУ/ПА-6,6 використовували чесальну машину марки ЧБВ. Процес скріплення холстів виконували трьома різними способами:

1. За допомогою голкопробивної машини марки ВП-1.

2. Обробка холстів, що вміщували клейові волокна в термокамері гарячим повітрям у вільному стані.

3. Обробка холстів, що вміщували клейові волокна методом пресування.

Фізико-механічні характеристики нетканих матеріалів визначали за стандартною методикою на розривній машині РМ-10. Показники паропроникності, водо- та вологопоглинання нетканих матеріалів визначали ваговим методом в неізотермічних умовах за стандартними методиками. Релаксаційні властивості нетканих матеріалів при стисненні та розтягуванні визначались за допомогою товщиноміра ДМ-100 та релаксометра РМ-5 за стандартними методиками. Теплофізичні властивості нетканих матеріалів визначались за допомогою промислової установки вимірника теплоємності ІТ-с-400. Структурні дослідження волокон проводили методом оптичної поляризаційної мікроскопії (Біолам С-11) з використанням спеціальної окулярної насадки для фіксації цифрових зображень. Для визначення текстурних характеристик та фрактальної розмірності нетканих матеріалів використовували метод аналізу зображень їх поверхні. Для цього зразки нетканих матеріалів сканували з високою розподільчою здатністю (600-1200 dpi). Для статистичної обробки, аналізу зображень та візуалізації даних використовували такі програмні продукти: ImageJ, CurveExpert, Statistica, Excel.

**Наукова новизна роботи** полягає у встановленні закономірностей зміни фізико-механічних, текстурних та теплофізичних властивостей нетканих матеріалів на основі відходів комплексних хімічних волокон складу ПУ/ПА-6,6 при додаванні різних типів та кількості природних (льону, конопель, бамбуку, бавовни) і синтетичних волокон (ПЕТФ, ПЕНГ, ПЕТФ/ПЕВГ). При цьому вперше встановлено:

- можливість регулювання фізико-механічних характеристик нетканих матеріалів на основі відходів комплексних хімічних волокон складу ПУ/ПА-6,6 при додаванні різних типів та кількості природних і синтетичних волокон, зокрема суттєво підвищити міцність нетканого матеріалу і зменшити його анізотропію за цим показником;
- протилежний характер впливу синтетичних та природних волокон на показник фрактальної розмірності нетканих матеріалів на основі відходів комплексних

хімічних волокон складу ПУ/ПА-6,6. Показано, що додавання у вихідну суміш волокон ПЕТФ зменшує, а волокон льону збільшує показник фрактальної розмірності;

- ефект впливу синтетичних та природних волокон на релаксаційні характеристики нетканих матеріалів на основі відходів комплексних волокон складу ПУ/ПА-6,6. Доведено, що введення у вихідну суміш 30 мас.% волокон ПЕТФ забезпечує підвищення еластичної складової деформації, а 20 мас.% льону – суми пружної та еластичної її частини при суттєвому зменшенні загальної деформації зразка;
- нелінійний характер зміни середніх поперечних розмірів природних волокон льону і конопель при збільшенні числа циклів їх механічної переробки, при цьому зміна середніх поперечних розмірів волокон конопель в процесі багаторазового прочісування відбувається в 2,5 рази швидше, ніж волокон льону;
- лінійний кореляційний взаємозв'язок між текстурними показниками та фрактальною розмірністю для нетканих волокнистих матеріалів на основі ПУ/ПА-6,6 з різною кількістю клейових волокон;
- екстремальний характер залежності текстурних показників термоскріплених нетканих матеріалів на основі ПУ/ПА-6,6 від кількості моно- та бікомпонентних клейових волокон у їх складі. Максимальні значення досягнуті за вмісту 25 мас.% клейових волокон;
- можливість регулювання теплофізичних властивостей нетканих матеріалів на основі волокнистих відходів ПУ/ПА-6,6. Показано, що теплоємність нетканих матеріалів визначається інтенсивністю зміни температури матеріалу під час його нагрівання і залежить від природи волокон, їх співвідношення та структури матеріалу.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає в тому, що вперше запропоновано спосіб переробки відходів хімічних волокон для одержання високоеластичних нетканих матеріалів.

Використання природних волокон льону, конопель, бамбуку, бавовни як додаткового компонента у складі нетканих матеріалів на основі ПУ/ПА-6,6 волокон

дозволяє отримувати ізоляційні матеріали для автомобільної, будівельної, текстильної, взуттєвої промисловостей.

Розроблено методологічний підхід побудови двовимірних векторних моделей нетканих композиційних матеріалів з керованим характером розподілу окремих структурних елементів. Показана адекватність таких моделей для визначення ступеня орієнтації волокон в матеріалі методом аналізу зображень.

Запропоновано метод спрямованого регулювання фізико-механічних, еластичних, тепло-фізичних і структурних характеристик нетканих із суміші хімічних волокон на основі волокнистих відходів ПУ/ПА-6,6.

Розроблено технологічну схему та визначено параметри одержання голкопробивних нетканих матеріалів на основі волокнистих відходів ПУ/ПА-6,6, з додаванням різних типів та кількості природних і синтетичних волокон як модифікуючого компонента.

Визначені деформаційні характеристики при стисканні та розтягуванні в циклі навантаження-розвантаження для нетканих матеріалів на основі волокнистих відходів ПУ/ПА-6,6, що дає можливість регулювання їх еластичних властивостей в широких межах.

Розроблено схему процесу та визначені норми технологічного режиму виготовлення термоскріплених нетканих матеріалів на основі волокнистих відходів (ПУ/ПА-6,6). Показано, що використання термоскріплення для нетканого матеріалу складу (ПУ/ПА-6,6)/(ПЕНГ/ПЕТФ) (80/20) забезпечує зростання його відносної міцності (в порівнянні з голкопробивним зразком) ~у 3 рази при незначному збільшенні розривного видовження.

Запропонована та реалізована методика визначення текстурних характеристик голкопробивних та термоскріплених нетканих матеріалів з використанням різних алгоритмів заснованих на методі аналізу зображень (Патент України на корисну модель, ліцензійний договір № 5-19 про продаж не виключної ліцензії на використання корисної моделі за патентом. 24.07.2019 р.)

Результати досліджень впроваджені в навчальний процес підготовки фахівців за спеціальністю 161 – хімічні технології та інженерія, за освітньою програмою «Хімічні технології та дизайн волокнистих систем» на кафедрі прикладної екології, ехнології полімерів і хімічних волокон КНУТД, використовуються при підготовці курсових, дипломних робіт, кваліфікаційних робіт магістрів.

**Особистий внесок здобувача** полягає в аналізі науково-технічної і патентної літератури за темою роботи, опрацюванні методики експерименту, виконанні експериментальних досліджень, обробці та аналізі одержаних результатів, у формулюванні в співавторстві з науковим керівником мети, задач і висновків по роботі. Здобувач брала безпосередню участь в отриманні дослідних зразків, аналізі їх структури та проведенні випробувань в навчально-науковій лабораторії перспективних волокнистих матеріалів КНУТД під керівництвом проф. Ю.О. Будаша. Постановку завдань досліджень та обговорення результатів проведено разом з науковим керівником.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення і результати роботи доповідались, обговорювались та здобули позитивну оцінку на науково-практичних конференціях: XV, XVI XVII, XVIII Всеукраїнських наукових конференціях молодих учених та студентів "Наукові розробки молоді на сучасному етапі" 2016-2019 рр., м. Київ, КНУТД; Міжнародна конференція текстильних та фешн технологій «KyivTex&Fashion», KNUTD, Kyiv (8-9 June 2017); 9th Central European Conference 2017 “Fibre-Grade Polymers, Chemical Fibres and Special Textiles” Liberec, Czech Republic (11-13 September 2017); The 7 th International Conference on Advanced Materials and Systems – ICAMS 2018. Bucharest, Romania (18-20 October 2018); III Міжнародній науковій конференції "Advanced Polymer Materials and Technologies" (м. Київ, КНУТД, 14-15 квітня 2020 р.)

**Публікації.** За матеріалами дисертації опубліковано 15 наукових робіт, в тому числі 6 статей у наукових фахових виданнях, 1 стаття у зарубіжному виданні з науково-метричної бази Scopus, 1 патент на корисну модель; 7 тез доповідей на міжнародних і всеукраїнських наукових конференціях.



**Структура дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Матеріали дисертації викладені на 152 сторінках і містять 72 рисунки, 9 таблиць, 3 додатки, 129 посилання на роботи вітчизняних і зарубіжних авторів на 11 сторінках.

## **РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ ОДЕРЖАННЯ ВИСОКОЕЛАСТИЧНИХ НЕТКАНИХ МАТЕРІАЛІВ ІЗ ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ**

### **1.1. Класифікація та методи отримання волокнистих нетканих матеріалів**

Проблема відходів в Україні вирізняється особливою масштабністю і значимістю як внаслідок домінування в промисловості ресурсоемних багатовідхідних технологій, так і через відсутність протягом тривалого часу адекватного реагування на її виклики. Значні масштаби використання природних ресурсів та енергетично-сировинна спеціалізація економіки України разом із застарілою технологічною базою визначали й продовжують визначати високі показники щорічного утворення й нагромадження відходів [1].

Текстильні відходи є однією із найбільших складових муніципальних побутових відходів. У країнах Західної Європи питання частково вирішується створенням системи «second hand», завдяки чому одяг, що зношується, потрапляє до України, створюючи тут додаткову екологічну проблему. Незважаючи на позитивні зрушення у цій сфері, на практиці домінує вивезення відходів на звалища, а відтак відбувається їх втрата як вторинної сировини. Така ситуація зумовлена низкою факторів, характерних як для України в цілому, так і для її регіонів, а саме [2]:

- нерозвиненість і недосконалість інфраструктури вторинного ресурсокористування;
- низька мотивація діяльності з утилізації відходів;
- недостатня підтримка суб'єктів господарювання з боку органів влади різних рівнів;
- недосконалість організаційно-економічного механізму фінансування у зазначеній сфері.

Як раціональний варіант утилізації подібної вторинної сировини запропоновано використання подрібнених тканин як наповнювачів полімерних композиційних матеріалів, які широко використовуються в різних галузях виробництва [3].

Відновлені волокна є цінною сировиною для хімічної і легкої промисловості (виробництво високоякісної пряжі, наповнювачі полімерних композиційних матеріалів, теплоізоляційні матеріали). Крім волокнистих відходів до складу композитів входить зв'язуючий реагент (поліетилен, поліпропілен, поліамід тощо). За таким способом можна регулювати міцність, щільність волокнистих матеріалів та інші характеристики [4;5]. Прикладом підвищення вартості і корисності текстилю для автомобільної промисловості є отримання екологічно безпечного композитного матеріалу на основі ПУ/ПА-6,6 волокон [6;7].

Неткані матеріали, отримані з волокнистих відходів, можна використовувати у різних галузях промисловості: тепло- та звукоізоляція у будівництві [8], одяг і спорядження для військових, наповнювачі різного призначення у текстильній промисловості [9].

Сучасні методи виготовлення нетканих матеріалів дозволяють виробляти широкий спектр унікальних тканин [10], що можуть бути використані для виробництва медичного і геотекстилю [11], матеріалів для ізоляції та фільтрації.

Неткані матеріали – це інженерні тканини, які можуть формувати вироби, як одноразові так і довговічні, з тривалим терміном експлуатації [12;13]. Неткані матеріали можна класифікувати наступним чином [14]:

- за призначенням: побутові, обтиральні, тарні, пакувальні, взуттєві, основа для штучних шкір і клейонки, прокладочні, фільтрувальні, меблеві і ватин;
- по сировинному складу: однорідні (що складаються з одного виду волокна) і неоднорідні (що складаються з суміші волокон);
- за способом виробництва: в'язально-прошивні, голкопробивні, клейові, валяльно-повстяні.

Структура і властивості нетканих матеріалів залежить від способу їх виготовлення [15]. Вони можуть складатися з основи та елементів, що її скріплюють. Як основа можуть бути використані тканини, трикотажні полотна [16], плівки, волокнистий настил, системи ниток та інші каркасні структури. В якості скріплювальних елементів (зв'язуючих) для основи можуть бути використані нитки

[17], волокна [18] та різні клейові компоненти [19]. Розрахунок структурних характеристик нетканих матеріалів залежить від того, яка основа та скріплювальні елементи її складають [20].

Основні технологічні операції отримання нетканих матеріалів [21]:

- 1) підготовка сировини (розпушування, очищення від домішок і змішування волокон, перемотування пряжі і ниток, приготування в'язких речовин, розчинів хімікатів, наприклад затверджувачів, агентів набухання волокон);
- 2) формування волокнистої основи (наприклад, полотна чи системи ниток);
- 3) скріплення волокнистої основи в єдину систему (одержання нетканих матеріалів);
- 4) заключна обробка нетканих матеріалів.

Важливою умовою для отримання нетканого матеріалу є не тільки вибір сировини, а й спосіб формування та метод скріплення волокна.

Волокнисту основу скріплюють механічним, фізико-хімічним або комбінованими способами [22]. В залежності від подальшого застосування волокнистого нетканого полотна й обирають спосіб скріплення. На рис. 1.1. представлена основна класифікація способів скріплення НМ.

Голкопробивні неткані матеріали виготовляють на голкопробивних машинах. Скріплення волокон в полотні здійснюється в результаті їх механічного переплутування при багаторазовому проколюванні полотна голками із зазубринами. Дослідження авторів Rawal A. та Majumdar A. показує [23], що особливості голкопробивних машин, конструкції голок, глибина та щільність голкопроколювання мають вирішальний вплив на структуру нетканих матеріалів і, отже, на їх характеристики.

Як підтверджують статті Dedov A. щільність пробивання голки впливає на механізм стадій деформації матеріалу, що визначається переорієнтацією волокон, яка відбувається при пробиванні голки. При голкопробиванні досягається складний розподіл орієнтації волокон [24; 25]. Такий спосіб скріплення полотна поліпшує такі його властивості як: повітропроникність, вологопоглинання та паропроникність [26].

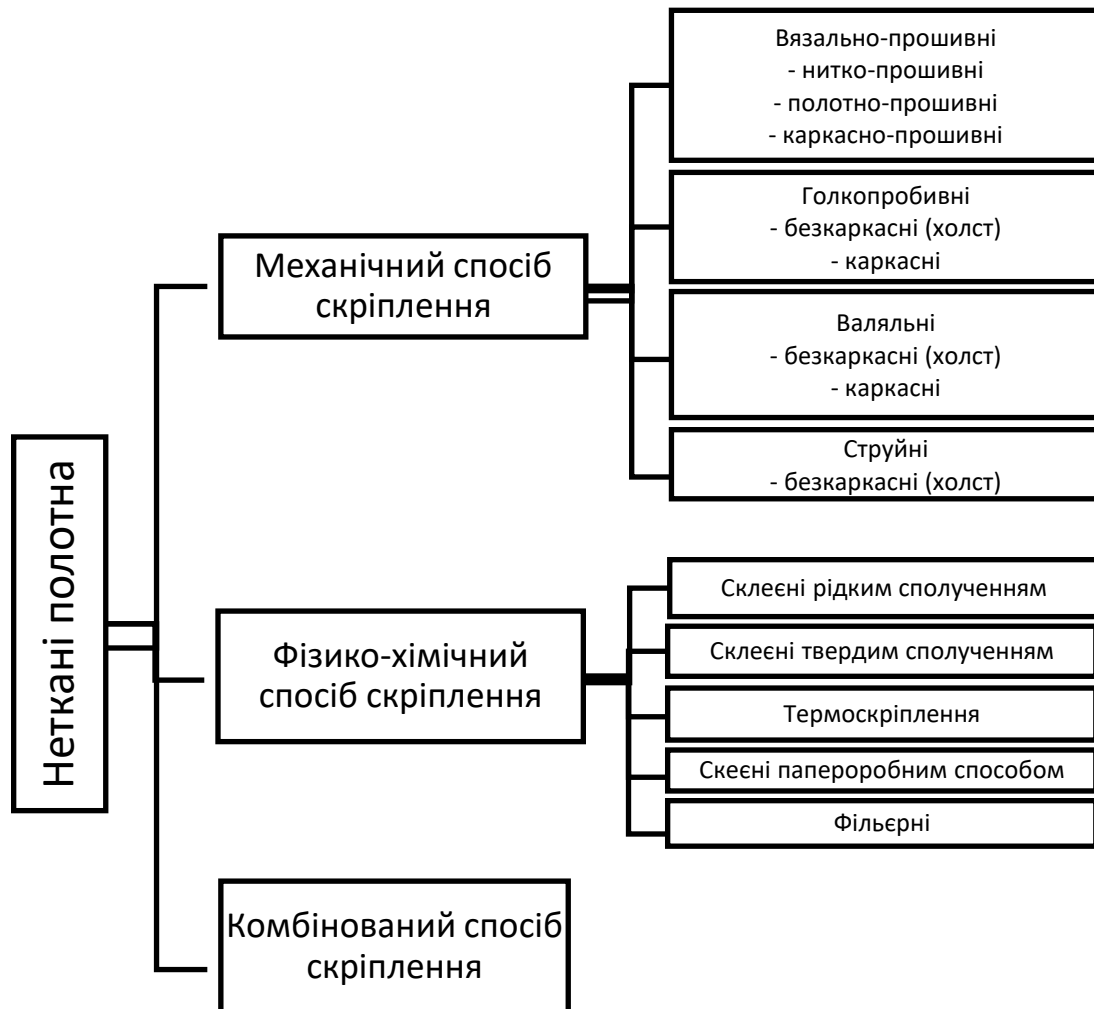


Рисунок 1.1. Класифікація способів скріплення нетканих матеріалів

Клейовий спосіб скріплення нетканих полотен використовують для підвищення відносної механічної міцності. Найчастіше як термопластичні волокна використовуються поліетиленові [27], поліпропіленові [28], поліамідні [29], а також фенолформальдегідні і меламінформальдегідні смоли. Скріплення полотна досягається шляхом розм'якшення під дією підвищених температур термопластичних волокон і латексів та їх сплавів між собою та з іншими волокнами [30; 31].

Комбіновані способи отримання нетканих матеріалів включають декілька методів скріплення волокнистої основи, їх застосовують для отримання нетканих матеріалів підвищеної якості (наприклад, з більшою формостійкістю [32], підвищеною міцністю [33], з кращими деформаційними властивостями [34]). Цим способом виготовляють неткані матеріали, що імітують натуральну замшу, хутро,

пакувальні матеріали та ін. [35]. На рис. 1.2. представлені загальні етапи одержання НМ.

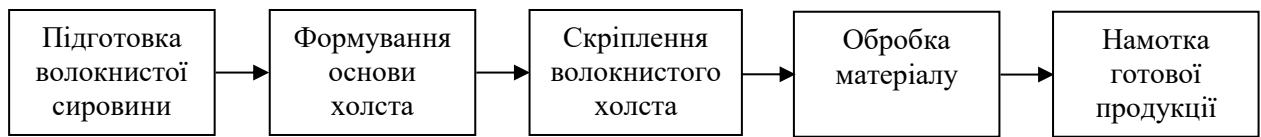


Рис. 1.2. Технологічна схема одержання нетканих матеріалів

Головним чином, для виготовлення нетканих матеріалів обирається сировина низької якості, короткі волокна (до 30 мм) з відходів виробництва. Така сировина переробляється при невеликому числі операцій, а отже підготовка здійснюється ретельно [36]. Після підготовки сировини та підбору компонентів для отримання однорідної суміші волокон, формується основа холста. Далі сформовані полотна піддають обробці для надання їм певних властивостей (кольору, пухнастості) [37].

Розвиток сучасного виробництва волокнистих нетканих матеріалів характеризується декількома тенденціями [38; 39]. Серед них можна відзначити, по-перше, широке використання природних волокон [40] (в тому числі недеревного походження) для створення функціоналізованих волокнистих матеріалів. По-друге, використання оригінальних новітніх технологій утворення та скріплення шару волокнистого матеріалу (спанбонд, спанлейс, ейрлейд, струто та ін.). Незважаючи на це, класичний (механічний) спосіб отримання нетканих матеріалів з використанням чесальних машин як і раніше широко вживаний у промисловості [41].

## **1.2. Особливості вибору волокнистої сировини при виготовленні високоеластичних нетканих матеріалів**

Як стверджує у своїх працях Kellie G. через стрімке зростання текстильної промисловості, важливим залишається питання переробки вже існуючої сировинної бази з використанням нових технологій [42].

Комбінування волокон різного походження суттєво впливає на властивості НМ. Автори Das D., та Pradhan A.K., у своїй роботі [43] дослідили актуальність використання природних та синтетичних волокон у композитних нетканих

матеріалах. Найбільш широко у виробництві НМ використовується бавовна, льон, джут та кенаф. Але все ще більшість нетканих волокон є синтетичними. Santhanam S. та Bharani M. визначили, що завдяки використанню перероблених бавовняних та поліефірних волокон покращуються властивості звукопоглинання в кінцевому продукті [44].

Дослідження Zhang S. та Horrocks A. показало, що неткані матеріали виготовлені з волокон поліпропілену та покриті вогнезахисною речовиною, придатні для поліпшення захисту при дії високих температур [45]. Також Das D. та Pourdeyhimi B. виявили, що бавовняні волокна, оброблені вогнезахисними сполуками, змішуючись з антибактеріальними бавовняними волокнами та поліефірними двокомпонентними волокнами, утворюють високоміцні вогнезахисні тканини [46].

Неткані матеріали використовуються для виробництва геотекстилю завдяки простому виробничому циклу та низькій собівартості обробки. В роботі Bernava A. та Reihmane S. [47; 48] показано, що використання перероблених конопляних, поліетиленових, терефталатних та поліпропіленових волокон для виробництва нетканих матеріалів покращує їх властивості водопоглинання, повітропроникність та загальні фізико-механічні характеристики. Також можна цілеспрямовано впливати на параметри поверхні та механічні властивості НМ [49].

При виготовленні нетканих матеріалів з синтетичних волокнистих відходів [50], використання природних волокон як додаткового компоненту зумовлено наступним. По-перше, використання відновлювальних природних ресурсів є сучасним, прогресивним напрямком у полімерній індустрії [51]. Це зменшує навантаження на навколишнє середовище за рахунок використання волокнистих матеріалів, що виробляються природою щорічно. По-друге, це зміна властивостей нетканих матеріалів, стосовно їх фізико-механічних показників та експлуатаційних характеристик. Крім того, додавання природних волокон у неткані матеріали є ефективним шляхом одержання виробів, що мають здатність до часткової біодеградації в процесі їх остаточної утилізації [52].

Отримуючи різні види нетканих матеріалів важливим є визначення розмірних характеристик волокон, для прогнозування однорідності готового продукту [53]. Для

більш реалістичного опису нетканих матеріалів, слід враховувати базову випадкову композицію окремих волокон. Приклад матеріалу з нетканого поліефірного волокна показаний на рис 1.3.

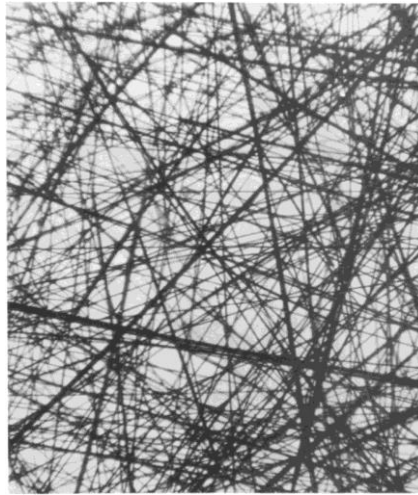


Рис.1.3. Мікрографія нетканого матеріалу

Характеристики синтетичних волокон чітко визначаються умовами формування [54]. Для природних волокон розмірні характеристики (довжина та поперечний переріз) залежать від ряду факторів: біологічної природи, властивостей вихідної сировини, умов виділення волокон з природно-рослинних компонентів [55]. Незважаючи на те, що основна увага при переробці приділяється контролю довжини природних волокон, їх поперечні розміри мають не менше значення і визначають ряд специфічних властивостей нетканих матеріалів, наприклад, однорідність, пористість, сорбційну здатність, паро- та повітропроникність [56].

### **1.3. Особливості фізико-механічних властивостей нетканих матеріалів різного складу**

Зростання виробництва нетканих матеріалів пояснюється їх невисокою, порівняно з текстильними матеріалами, вартістю, а також можливістю використання замість тканин аналогічного призначення [57]. Крім того, цикл виробництва нетканих матеріалів в декілька разів коротший порівняно з класичними технологіями виробництва тканин і трикотажу [58]. Продуктивність окремих способів нетканого



виробництва значно вища ніж текстильного [59], та дозволяє надавати матеріалам більш широкий спектр унікальних властивостей, для забезпечення різноманітних потреб багатьох галузей промисловості [60]. Можливість використання різноманітних відходів текстильної промисловості для отримання нетканих матеріалів, не тільки сприяє їх здешевленню, але й вирішує проблеми утилізації волокнистої сировини [61].

Фізико-механічні і пружно-пластичні властивості нетканих матеріалів обумовлюються способами їх виробництва [62; 63]. На властивості нетканих матеріалів важливий вплив мають також їх будова і структурні особливості, що обумовлені використанням різноманітних вихідних матеріалів (волокон, ниток, трикотажу, плівки, різних сполучних речовин, тощо). Основними показниками якості для нетканих матеріалів являються товщина, поверхнева щільність, номінальна міцність при розриві, питома розривна навантаження, модуль пружності [64]. Можливість регулювання фізико-механічних властивостей нетканих матеріалів створює перспективи для нових напрямків їх застосування.

Вивчення впливу орієнтації волокон та волокнистого складу НМ, дає можливість прогнозувати властивості кінцевого продукту [65]. Всі вимірювальні фізичні, механічні та функціональні властивості нетканих матеріалів мають значну кореляцію із структурними характеристиками, що підтверджують дослідження Roy R. та Ishtiaque S. [66].

Неткані матеріали мають дуже високу пористість, особливо легші та більш тонші мають низьку теплопровідність. Вплив товщини шару НМ на показник теплоізоляції підтвердили в своїй роботі автори G. Gnanauthayan та R.S. Rengasamy [67]. Також було виявлено, що структурна характеристика багатошарових нетканих матеріалів впливає на провідну, конвективну та радіаційну теплопередачу [68].

Важливою умовою для визначення придатності НМ у геотекстилі є розподіл пор за розмірами у матеріалі, включаючи фільтрацію та геотехнічну інженерію [69]. Неткані матеріали на основі поліестеру (ПЕТ) та поліпропілену (ПП) стають

основним джерелом для отримання геотекстилю, оскільки забезпечують його міцність та хімічну стійкість [70].

Неткані матеріали – це складні тривимірні анізотропні структури, що складаються з волокон [71], орієнтованих у певних напрямках, які зв'язані тепловим, хімічним, механічним переплетенням або комбінацією цих прийомів. Структура нетканних матеріалів суттєво впливає на такі їх властивості як пружність та деформація [72]. Автори Rawal A. та Priyadarshi A. [73] досліджували анізотропну поведінку конструкцій НМ за допомогою теоретичних кривих напружень та деформацій і зробили висновок про взаємозв'язок між переорієнтацією волокна та деформацією тканини.

Також структурні особливості НМ впливають і на показники паропроникності [74], повітропроникності [75] і водопоглинання [76].

При проектуванні одягу з заданими теплозахисними властивостями для використання в різних кліматичних, виробничих і побутових умовах важливе значення мають теплофізичні характеристики текстильних матеріалів [77; 78]. Визначення цих характеристик необхідне з точки зору теплового комфорту користувача одягу, а також ефективності захисту від низької або високої температури [79].

Під дією теплової енергії текстильні матеріали виявляють здатність:

- проводити тепло (теплопровідність, тепловий опір, температуропровідність);
- поглинати тепло (теплоємність);
- змінювати або зберігати свої властивості (тепло- і термостійкість, вогнестійкість, морозостійкість) [80].

Процес перенесення теплоти доволі складний. Розрізняють три способи перенесення теплоти: теплопровідність, конвекція і теплове випромінювання [81]. Теплопровідність текстильних полотен залежить від багатьох чинників: природи волокон, складу, способу отримання, структури, щільності матеріалу, виду, розмірів та розташування пор (порожнин), температури матеріалу і, особливо, його вологості [82]. Оскільки теплозахисний одяг являє собою багатошарову конструкцію, то його

теплоізоляційні властивості є результатом термічного опору кількох шарів, їх порядку, а також теплозахисних характеристик кожного виду текстильного матеріалу, що утворює певний шар [83]. Тому дослідження теплофізичних властивостей зокрема теплопровідності нових утеплюючих багатошарових композиційних текстильних матеріалів (БКТМ), відмінною особливістю яких є наявність нетканого полотна в якості серединного шару [84], є актуальним з огляду на практичне значення одержаних результатів.

Результати досліджень підтверджують принципову можливість одержання композиційних нетканих матеріалів на основі відходів текстильної промисловості з певними фізико-механічними характеристиками, які можуть бути корисними для матеріалів із теплозахисними чи звукоізоляційними властивостями.

#### 1.4. Сучасні тенденції розвитку виробництва нетканих матеріалів

З кожним роком неткані матеріали стають розвиненою багатогранною промисловою інфраструктурою, без якої майже не можуть обходитись інші галузі [85]. Очікується, що світовий ринок нетканих матеріалів до 2025 року досягне 33,23 млрд доларів США (рис. 1.3).



Рис.1.3. Тенденції росту попиту на неткані матеріали у світі

Важливим внеском у сучасні одноразові засоби гігієни для життя мільйонів людей є використання нетканих матеріалів [86]. Фільтрні НМ, що виготовляють з

тонких ниток, характеризуються високою м'якістю та бар'єрними властивостями захисту від протікання [87].

До тенденцій розвитку НМ даної групи відносяться також розробки комбінованих матеріалів, що виконують одночасно функції оболонки, приймально-розподільного шару і всоткуючого вкладиша [88].

Неткані матеріали обтираючого призначення – це асортиментні групи, які найбільш швидко розвиваються. Фірма «Файбертекс» на фільтрно роздувних лініях в Данії і Малайзії випускає матеріали для внутрішніх і зовнішніх оболонок виробів гігієнічного призначення, а також інших виробів персонального догляду. Матеріали випускаються під марками «Комфорт» (Comfort), «Еліт» (Elite) і «Шейп» (Shape). Фірма «SAAF» (Саудівська Аравія) на сучасній 5-бальній фільтрно роздувній лінії отримує НМ медичного (гігієнічного) призначення [89; 90].

Світове споживання нетканних матеріалів медичного призначення оцінюється приблизно в 5 млрд. м<sup>2</sup>/рік на суму близько 7 млрд. доларів [91]. Хірургічні халати, простирадла, маски найпопулярніші продукти у секторі медицини.

В цьому напрямку фірма «Дюпон», використовуючи так звану «передову комбіновану технологію» (ACT), розробила НМ «Супрел» (Suprel) для хірургічних халатів і лікарняних простирадл. Матеріал відрізняється поєднанням високого рівня захисних властивостей і комфортності. Вони являють собою бікомпонентний склад, в якому поліефір надає міцність, а поліетилен – м'якість і шовковистість [92]. Фірма «Кардинал Хілскейр» випустила матеріал «Тибурон» (Tiburon) для хірургічних простирадл і покривал. Цей мікрОВОлокнистий комбінований матеріал містить 3 шари: поглинаючий для рідин, напівпроникну мембрану і шар для комфорту пацієнта [93].

Неткані матеріали використовуються й для одягу виробничо-технічного призначення [94]. За даними ІНДА 80% ринку захисного одягу разового використання в Північній Америці об'ємом в 290 млн. доларів займають НМ «Тайвек» фірми «Дюпон». Сюди включений захисний одяг для персоналу виробничих підприємств, атомних виробництв, організацій по роботі з небезпечними відходами, агросектору і

«чистих приміщень» [95]. Споживання НМ на ці цілі становить приблизно 400-450 млн. м<sup>2</sup>.

Дослідження ринку нетканих матеріалів за останні роки показує, що одяг, призначений для захисту користувачів від впливу хімічних та інших потенційно небезпечних речовин, відіграє вирішальну роль у мінімізації ризиків, пов'язаних зі здоров'ям на робочому місці [96].

Потреба у нетканих матеріалах фільтрувального призначення стає рушійною силою для нових розробок та удосконалення. Нові вимоги і нові області застосування передбачають необхідність фільтрування все більш дрібних частинок (0,1-10 мкм), що забезпечується структурами з мікро- і нановолокон. Для одночасного уловлювання дрібних частинок, запахів і отруйних газів знаходять застосування спеціальні адсорбенти: вуглевмісні (активоване вугілля), оксидні (оксид алюмінію, цеоліт) і органічні (бонопор) з питомою поверхнею щільністю 300-2000 м<sup>2</sup>/г і розміром частинок від 0,4 до 9 мкм. Актуальність розробки нових фільтрувальних нетканих матеріалів підтвержують дослідження авторів Menzelintseva N. Та Karapuzova N. [97].

Неткані матеріали у геотекстилі також користуються попитом на світовому ринку. НМ займають 85% ринку геотекстилю в Америці, 77% - в Європі, 65% - в Японії. Їх обсяг споживання в США знаходиться на рівні 250 млн. м<sup>2</sup>/рік [98].

Нові області застосування в геотекстильному секторі в майбутньому можуть бути знайдені для перспективних фільтрних НМ, скріплених струменевим способом, які мають переваги в економічному плані і якості в порівнянні з термоскріплення і голкопробиванням НМ. Перші досліди показали, що в діапазоні поверхневої густини 80-200 г/м<sup>2</sup> фільтрно-струменеві НМ забезпечують помітне підвищення цілого ряду споживчих властивостей [99].

Значним стало застосування нетканих і комбінованих матеріалів як ущільнювачів і підкладок для покращення звуко- та теплоізоляції у будівництві [100]. Технологія виробництва подібних матеріалів розроблена фірмою «Райфенхойзер». Наприклад, під покрівельний дихаючий водотривкий матеріал отримують екструзією

плівки поверхневою щільністю 35 г/м<sup>2</sup> і її ламінуванням між фільтрною поліпропіленовими (ПП) полотнами щільністю 20-80 г/м<sup>2</sup> [101].

Останнім часом текстильні матеріали які поглинають шум широко використовуються через низькі виробничі витрати та їх естетичну привабливість [102]. В Америці за даними ІНДА неткані матеріали в даному секторі становлять 66%, голкопробивні НМ на основі штапельних волокон - 27%, клейові - 6%. При цьому 43% займають матеріали для покриття салонів і сидінь, 17% - ізоляційні, 13% - оббивка багажника, 10% - підкапотні, 6% - для оббивки стелі.

В Японії НМ автомобільного призначення складають близько 30% від загального обсягу випуску НМ [103]. У свою чергу 30% автомобільних НМ - це голкопробивні НМ з ПЕФ або ПП волокон, які використовуються в якості автомобільних килимків. Раніше використовувалися матеріали поверхневою щільністю 600-700 г/м<sup>2</sup>, а тепер їх замінюють матеріалами 360-370 г/м<sup>2</sup>. НМ займають 60% матеріалів для оббивки стелі салону. Значний потенціал зростання використання мають неткані сепаратори акумуляторних батарей в зв'язку з тенденцією розробки екологічно безпечних автомобілів [104].

До тенденцій розвитку в цьому секторі також відносяться:

- застосування легко формованих матеріалів;
- пониження поверхневої густини матеріалів;
- використання легко регенерованих НМ, наприклад, однорідних на базі одного або споріднених термопластичних полімерів;
- застосування НМ з додатковими функціональними властивостями, такими, як звукоізоляційні, вогнестійкі [105].

Розглянутий сучасний стан одержання високоеластичних нетканних матеріалів із вторинної сировини. Показано особливості вибору волокнистого складу при виготовленні НМ та фізико-механічні властивості готової продукції. Проаналізовано сучасні тенденції розвитку виробництва нетканних матеріалів, що обумовлює актуальність та потребу у виготовленні високоеластичних нетканних матеріалів для теплоізоляції об'єктів складної геометричної форми.

## РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Об'єктом дослідження є процес одержання нетканих матеріалів з регульованими властивостями із суміші хімічних волокон на основі промислових волокнистих відходів.

Предметом дослідження є розробка технології одержання високоеластичних волокнистих матеріалів із вторинної сировини.

### 2.1. Характеристика хімічних волокон, як предмету дослідження

Як волокнисту основу для дослідження в роботі було обрано виробничі відходи комбінованих ниток текстильної промисловості, які утворюються при виробництві панчішно-шкарпеткових виробів.

Відходи комбінованих ниток склалися з комплексних волокон Lycra 162 C (лінійна густина 4,4 текс) (70 мас.%) та текстурованих комплексних волокон Nylon 6.6 f 20/1 (лінійна густина 3,3 текс) (30 мас.%) [106].

Lycra 162 C - прозоре еластичне волокно з високою міцністю на розрив і відновною здатністю. Має широке розмаїття кінцевих застосувань в панчішно-шкарпеткових, плоских, круглих і основних трикотажних тканинах. Підходить для використання з природними або синтетичними волокнами.

Nylon 6.6 f 20/1 - являє собою легку та гладку нитку. Тканини з нейлону нагадують на дотик натуральний шовк, але вартість його набагато нижче. Серед переваг матеріалу можна назвати: доступність, зносостійкість, легкість, міцність, формостійкість.

До вихідного складу додавалися волокна: поліетилентерефталату, льону, коноплі. Вміст волокон в суміші складав 10, 20, 30, 40 і 50 мас.%.

Також до вихідного складу додавалися клейові штапельні волокна двох типів: однокомпонентні (ПЕВГ) та бікомпонентні (ПЕНГ/ПЕТФ). Вміст волокон в суміші складав 10, 15, 20 та 25 мас.%.

В таблиці 2.1. представлена характеристика використаних волокон для одержання високоеластичних нетканих матеріалів.

## Характеристика використаних волокон

Назва	Конденсійна вологість, %	Довжина різки, мм	Лінійна густина елементарного волокна, ТЕКС
Комплексні нитки ПУ/ПА-6,6	1,2/3,5	30	4,4/3,3
Поліетилентерефталат	0,4	65	0,3
Льон	12	50	2*
Конопля	13	30	2*
Бамбук	17	30	1,1
Однокомпонентне клейове волокно ПЕВГ	0,01	30	3,3
Бікомпонентне клейове волокно ПЕНГ/ПЕТФ	0,1	30	2,2

\*Номер волокна

До вихідного складу додавалися:

- текстуровані штапельні волокна поліетилентерефталату (ПЕТФ);
- волокна льону (Л), використовувалось коротке волокно льону, виду – сланець, з вмістом костриці 24% (ГОСТ 9394-76) [108].
- волокна конопель – (К) (ГОСТ 10379-76) [109];
- волокна бамбука – (Б) (ISO 22157-1:2004) [110];
- однокомпонентне клейове волокно на основі ПЕВГ марки 277-73 (ГОСТ 16338-85) [111] з ПТР 25 г/10 хв. отримане на екструзійній прядильній машині типу МФ-600-КШ24 (Чернігівське об'єднання «Хімволокно»). Завантаження машини поліетиленовою крихтою здійснювалось через проміжний бункер шнекового розплавлювача типу РВШ-63, який є складовою частиною плавильно-формуєчого агрегату. Параметри технологічного режиму формування:
  - Температура формування по зонах екструдера, °С: I зона – 285-290 °С; II зона – 305-310 °С; III зона – 320-330 °С; IV зона – 320-330 °С.
  - Температура по розплаву, 320-330 °С;
  - Оберти екструдера, об/хв. – 46-48;
  - Тиск на виході екструдера, мПа – 8,8;
  - Температура теплоносія прядильних балок, °С – 295-300;
  - подача розплаву дозуючим нососом (НШ-1,2), см<sup>3</sup>/хв. – 17,9;



- Фільєра: кількість отворів – 6; діаметр отворів, мм – 0,8.
- бікомпонентне волокно типу ядро-оболонка фірми «ES FiberVisions». Матеріал ядра ПЕТФ ( $t_{пл.} 275^{\circ}C$ ) матеріал оболонки ПЕНГ ( $t_{пл.} 105^{\circ}C$ ).

## 2.2. Методи дослідження

### 2.2.1. Визначення розмірних характеристик недеревних природних волокон

Мікроструктурні дослідження були переважно, як кількісними так і якісними, спрямованими, у першу чергу, на ідентифікацію й опис різних внутрішніх фаз. Існує багато факторів, що впливають на якість і результат будь-якого мікроскопічного дослідження полімерних сумішей. Деякі з них очевидні – наприклад, правильне готування зразків і вибір методу, спостереження (або комбінації методів). Інші – менш значимі, до них відноситься оцінка різних кількісних методів і фундаментальне розуміння реологічної, гідродинамічної й механічної поведінки полімерів.

Завдання мікроскопії – забезпечити необхідний контраст між досліджуваними фазами, що виникає природним шляхом через відмінність у показниках переломлення, хімічного складу або характеристик зрізів. Однак частіше його доводиться підсилювати фарбуванням, травленням або екстракцією [111].

**Оптична мікроскопія (ОМ).** Метод ОМ не вимагає спеціальної підготовки досліджуваних зразків. Дослідження можна повторювати аналізуючи дисперсії за рахунок реагломерації при наступних переробках, особливо в тих випадках, коли суміш не стабілізована зшиванням або міжфазними реакціями. Відхилення від нормального логарифмічного розподілу можуть бути викликані ефектами сегрегації, коли деформаційно-стійкий компонент сегрегуюється в диспергованій, але нерівномірно розподіленій фазі; наприклад, домени включення, стають більш стійкими до дроблення, чим ті, які не містять включень. Кількісна обробка зображень перетерпіла революційні зміни із приходом техніки цифрової реєстрації й обробки зображень. У результаті традиційні методи виміру розмірів диспергованих частинок, такі як статистичний підрахунок і перетинання хорд, були, в основному, замінені більш дешевою комп'ютерною обробкою зображень [112].

Розміри волокон можна визначати тільки на бінарних зображеннях, на яких деталі, що представляють інтерес, відділені від загального тіла. Підготовка таких зображень на основі звичайних чорно-білих фотографій становить найбільш складну частину аналізу. Деталі, які легко вирізняються оком, часто важко перетворити в прийнятний бінарний формат, оскільки єдиною відмінністю, яку розпізнає комп'ютер, є відмінність в інтенсивності (тобто в рівні сірого). Досвід показує, що доцільно готувати зразки таким чином, щоб уже на початковому зображенні був присутній максимальний можливий контраст, замість того, щоб намагатися вручну або за допомогою електроніки довести мало прийнятне зображення до рівня, придатного для бінаризації. Бінаризація звичайних мікрофотографій з великою часткою поверхневого рельєфу відома своєю складністю навіть у тих випадках, коли цікаві для дослідника деталі легко виділяються оком. Ці труднощі іноді вдається зм'якшити за допомогою фарбування [113].

### 2.2.2. Визначення фізико-механічних характеристик нетканих матеріалів

В ході дослідження визначали характеристики механічних властивостей нетканих матеріалів при розтягуванні до моменту розриву. Найбільш повною і різносторонньою розривною характеристикою матеріалу є діаграма (крива) розтягування (рис. 2.1а) в осях абсолютне подовження – навантаження [114].

Крива розтягування являє собою геометричне місце точок, що характеризують зміну навантаження і деформації при одноразовому розтягуванні до розриву. Користуючись нею можна визначити, яке подовження має матеріал при будь-якому навантаженні в ході його випробування.

*Розривне навантаження*  $P_p$  (сН, Н, даН, гс, кгс) – найбільше зусилля, яке витримує проба до розриву.

*Абсолютне розривне подовження*  $l_p$  (мм) – приріст довжини проби матеріалу до моменту розриву:

$$l_p = L_K - L_0 \quad (2.1)$$

де  $L_K$  – кінцева довжина проби у момент розриву, мм;

$L_0$  – початкова (затискна) довжина проби, мм.

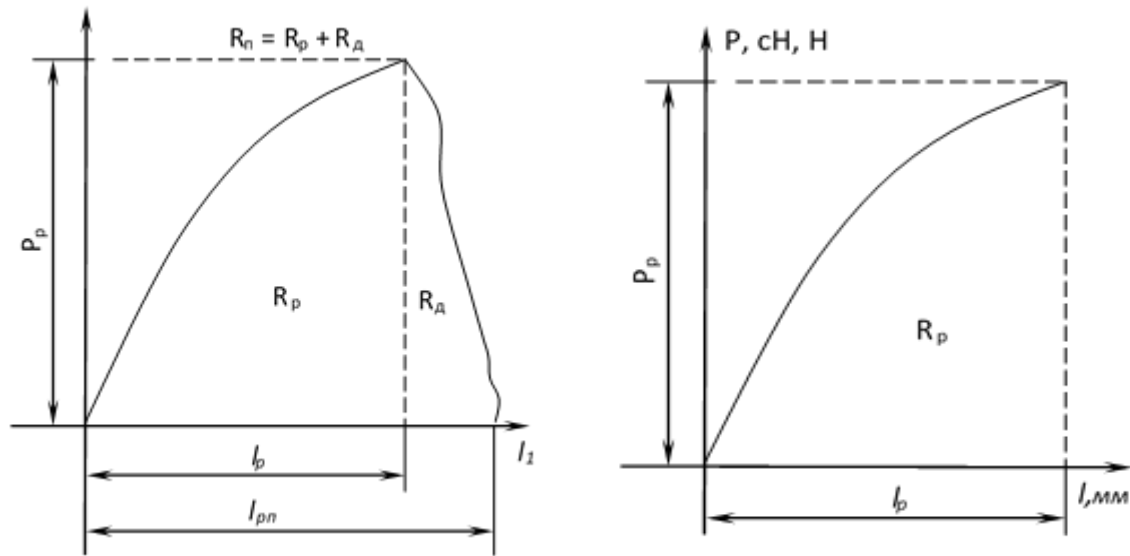


Рис. 2.1. Діаграма розтягування: а) - неповна, б) - повна

Слід мати на увазі, що не завжди повне руйнування матеріалу відбувається при досягненні  $P_p$ . Неткані матеріали рвуться не миттєво при досягненні  $P_p$ , а поступово, з подальшим зниженням навантаження, як показано на рис. 2.1, б. У цьому випадку можна користуватися терміном “повне абсолютне розривне подовження” –  $l_{pn}$ .

Відносне розривне подовження  $\varepsilon_p$  (%) – відношення абсолютного розривного подовження до початкової довжини проби, виражене у відсотках:

$$\varepsilon_p = \frac{l_p}{l_0} \cdot 100 \quad (2.2)$$

*Застосовувані прилади і матеріали:* розривна машина РМ-10, зразки волокон для випробування на міцність при розтягуванні до розриву.

Для розширення діапазону вимірювання навантаження динамометри забезпечені двома-трьома змінними тягарцями 12. При зміні тягарця змінюється загальна вага маятника  $G$ , зміщується його центр маси, а отже, змінюється фізична довжина маятника  $R$  (відстань від центра маси до осі). Величина  $r$ , яка дорівнює радіусу сектора, залишається при цьому незмінною. Кожному змінному тягарцю відповідає своя константа  $C = \frac{R}{r} \cdot G$  і своя шкала навантажень. Шкала подовжень 8

переміщується разом з нижнім затискачем. Разом з верхнім затискачем закріплений показчик 5, який дозволяє здійснювати відлік абсолютного подовження проби за шкалою 8.

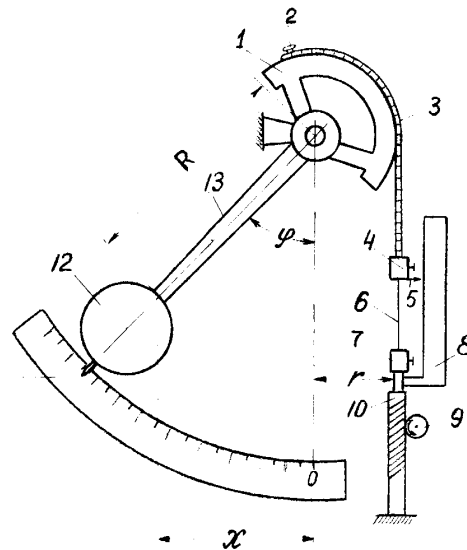


Рис. 2.2. Принципова схема маятничого динамометра

Існує багато модифікацій маятничових розривних машин, але принцип їх дії аналогічний.

Багато розривних машин, що використовуються до цього часу, мають шкали, градуйовані в грам-силах або кілограм-силах (гс або кгс). Статистичну обробку первинних даних, отриманих за показниками приладів, здійснювали в одиницях градування шкали навантажень і лише остаточні результати переводили в Санті ньютони (сН). Відносна похибка середнього арифметичного (довірча ймовірність 0,95) не перевищувала:

- при визначенні розривного навантаження  $\pm 9\%$ ;
- при визначенні розривного видовження  $\pm 9\%$ .

### 2.2.3. Визначення деформаційних властивостей голкопробивних нетканних матеріалів

Для визначення еластичних властивостей нетканого матеріалу до дії механічного навантаження застосовували методику, засновану на вивченні компонентів деформації при розтягуванні нетканних матеріалів, їх особливостей.

При вивченні розтягування нетканих матеріалів все ширше використовуються одноциклові характеристики релаксацій. Отримання цих характеристик пов'язано з достатньо тривалими випробуваннями, що дозволяє виявити вплив на деформацію нетканих матеріалів фактора часу, що грає велику роль при їх деформації.

Визначення одноциклових характеристик здійснюється без доведення зразка до руйнування і представляє інтерес тому, що неткані матеріали в процесах переробки і використання у виробах рідко випробовують до розриву. Дослідження показують, що до ниток при переробці рідко прикладають зусилля, що перевершують 30-35%, і подовження, що перевищують 40-45% розривних. При зусиллі і деформації в нетканих матеріалах в поздовжньому і поперечному напрямках (тобто по основі і утоку) – 10-15, у діагональних напрямках – 20-25% розривного подовження.

У більшості випадків у процесах переробки і при використанні у виробах неткані матеріали піддаються натягуванню протягом деякого часу, а потім розвантажуються і отримують відпочинок. Тому дуже важливим є вивчення поведінки нетканих матеріалів у циклі: навантаження – розвантаження – відпочинок.

Повна деформація нетканих матеріалів складається з декількох частин: оборотної (пружної і еластичної) і необоротної (пластичної).

**Пружна деформація** (швидке оборотне подовження)  $l_u$  – компонент повного подовження, що миттєво зникає після розвантаження. Виникає під впливом зовнішніх сил внаслідок невеликого збільшення середніх відстаней між сусідніми атомами і їх валентних кутів; розвивається із швидкістю звуку в даних нетканих матеріалах, призводить до зростання пружної деформації і зникає після зняття навантаження з тією ж швидкістю.

**Еластична деформація** (повільнооборотне подовження)  $l_e$  – компонент повного подовження, який зникає протягом тривалого відпочинку після розтягування, що триває до припинення помітного зменшення довжини нетканого матеріалу; приблизно виражає високоеластичне подовження. Виникає під впливом зовнішніх сил внаслідок змін конфігурацій молекул (їх "конформацій"), відбувається без зміни об'єму. Розвиток цього компонента, так само як його зникнення після зняття

навантаження, відбувається повільно (протягом декількох діб), тобто ці процеси проходять як релаксаційні.

**Пластична деформація** (залишкове подовження)  $l_n$  – компонент повного подовження, що не зникає після відпочинку матеріалу. Розвивається під дією зовнішніх сил дуже повільно і безперервно, спричиняє необхідний зсув окремих ланок або цілих макромолекул. Складовою частиною цього процесу є також необоротні зсуви недостатньо закріплених нетканих матеріалів [115].

Таким чином повна абсолютна деформація нетканого матеріалу  $l$  становить:

$$l = l_y + l_e + l_n, \quad (2.3)$$

де  $l_y, l_e, l_n$  – відповідно пружна, еластична, пластична компоненти деформацій. Сума часток цих компонентів дорівнює 1:

$$l_y / l + l_e / l + l_n / l = \Delta_y + \Delta_e + \Delta_n = 1 \quad (2.4)$$

Часто повну деформацію і її компоненти виражають щодо початкових розмірів зразка ( $L_0$ ). Тоді повна відносна деформація:

$$\varepsilon = \varepsilon_y + \varepsilon_e + \varepsilon_n, \quad (2.5)$$

де  $\varepsilon_y = l_y / L_0$ ,  $\varepsilon_e = l_e / L_0$ ,  $\varepsilon_n = l_n / L_0$ .

*Застосовувані прилади і матеріали:* релаксометри РМ-5, УР-2М, зразки нетканих матеріалів.

Для визначення зміни в часі подовження розтягнутих нетканих матеріалів, їх подовження застосовують релаксометр РМ-5 (рис. 2.3). Дослідження дає можливість спостерігати за зникненням швидкооборотного і повільнооборотного компонентів подовження при відпочинку розвантаженого нетканого матеріалу.

Якщо немає приладу РМ-5, спостереження можна здійснювати за допомогою П-подібних стійок, на верхній поперечині яких кріплять верхні затискачі для нетканих матеріалів. Навантаження на нитки здійснюється нижніми затискачами з тягарцями. Довжину нетканого матеріалу вимірюють або за вертикальною шкалою за допомогою стрілок, що переміщуються по одній з колонок стійки, або по міліметровці, яку закріплюють ззаду нетканого матеріалу.

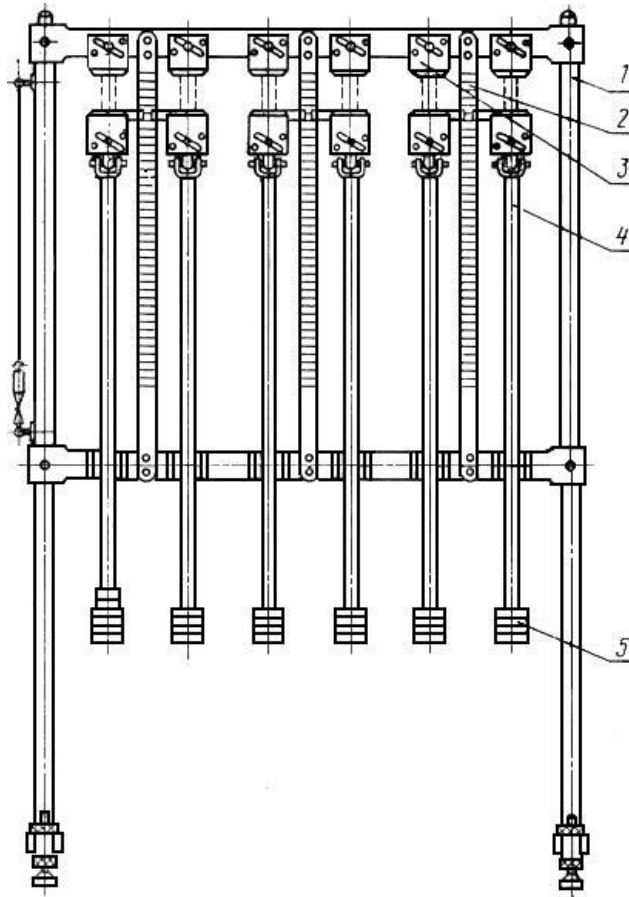


Рис. 2.3. Принципова схема релаксометра РМ-5

Проби нитки відбирають з п'яти пакувань, попередньо витриманих у стандартних кліматичних умовах. Випробування звичайно здійснюють із затискнуою довжиною 500 мм (для ниток з великим подовженням – 200 мм), для чого відповідно встановлюються нижні затискачі.

Подальший відлік деформації і записи здійснюють через 3; 30 с; 1; 3; 5; 10; 15; 30 хв.; 1 годину (від моменту відкриття важільного затвора важеля). Потім закривають важільний затвор і тим самим розчіплюють блоки. Це дозволяє нетканому матеріалу вільно скорочуватися. Записи також здійснюють через 3; 30 с; 1; 3; 5; 10; 15 хв. і закінчують через 30 хв. Таким чином, загальний час спостереження становить 1 год. 30 хв [116]. Відносна похибка середнього арифметичного (довірча ймовірність 0,95) не перевищувала:

- при визначенні пружної деформації  $\pm 5\%$ ;
- при визначенні еластичної деформації  $\pm 5\%$ ;
- при визначенні пластичної деформації  $\pm 5\%$ .

#### 2.2.4. Визначення релаксаційних властивостей нетканих матеріалів при стисканні

Для визначення еластичних властивостей нетканого матеріалу до дії механічного навантаження застосовували методику, засновану на вимірюванні товщини в умовах зростання навантаження на матеріал. Властивості міцності при стисненні зразків визначали за стандартною методикою згідно ДСТУ 13648.1-78 [117].

Сутність метода полягає у визначенні зміні товщини нетканого матеріалу під дією стискаючого зусилля, що спрямоване перпендикулярно до площини зразка і рівномірно розподілене по його площині. Дослідження проводились за допомогою товщиноміра марки DM-100.



Рис. 2.4. Товщиномір марки DM-100

Діаметр (d) робочої площадки – 3,6 см. Первинне навантаження – 157 г.

*Проведення дослідження.* Зразок для випробування розміщують між плитами приладу і прикладають наростаюче стискаюче навантаження. При досягненні значення навантаження, яке відповідає первинному навантаженню (1,513 кПа) на зразок, по індикатору визначають початкову товщину зразка  $l_0$ . Поступово підвищуючи стискаюче навантаження по індикатору визначають товщину в стиснутому стані. Далі продовжували навантажувати робочу площадку послідовним збільшенням навантаження за допомогою маркованих грузів, при цьому вимірювали



товщину матеріалу з точністю до 0,01 мм. Вимірювання проводили в циклі навантаження-розвантаження. Напруження на зразок вираховували як відношення маси груза до площі робочої площадки.

*Обробка результатів.* Відносну деформацію при навантаженні-розвантаженні (загальна деформація стиснення) ( $\delta$ ) у відсотках вчислили за формулою (2.6):

$$\delta = \frac{h_0 - h}{h_0} \cdot 100 \quad (2.6)$$

Величину гістерезису ( $\gamma$  %) визначали як відношення площі в циклі стиснення до площі в циклі розвантаження зразків. Одним з найважливіших проявів релаксаційних процесів є пружний гістерезис, сутність якого полягає в наступному. Якщо діяти на зразок поступово зростаючою напругою, а потім зменшувати її з тією ж швидкістю, то крива «напруга - деформація», що відповідає зростанню напруги, не співпадає з кривою падіння, тобто зміна деформації  $D$  відстає від зміни напруги  $\sigma$ .

Крива випробування деформації при зниженні напруги не повертається на початок координат і відповідає цілком певному значенню деформації, яку формально можна прийняти за незворотну залишкову деформацію. Однак з часом ця деформація поступово зменшується, тому її називають уявною залишковою деформацією. Явище пружного гістерезису залежить від швидкості навантаження і температури. Якщо час дії навантаження одно часу релаксації,  $t = \tau$ , то петля вироджується в рівноважну криву. Енергія, накопичена в зразку, визначається площею петлі гістерезиса як різниця питомої роботи, витраченої при навантаженні та розвантаженні зразка. Звідси площа петлі гістерезиса, ця накопичена неповернена енергія може перетворюватися тільки в тепло, викликає нагрівання зразка.

Відносна похибка середнього арифметичного (довірча ймовірність 0,95) не перевищувала  $\pm 5\%$ .

### **2.2.5. Визначення показників водопоглинання голкопробивних нетканих матеріалів**

Дослідження проводили за допомогою метода визначення водопоглинання в неізотермічних умовах згідно ДСТУ 17229:2009 [118].

*Метод визначення водопоглинання.* Суть методу полягає у визначенні ваговим методом кількості води, яка затримується в елементарній пробі при визначенні водопоглинання в неізотермічних умовах.

*Проведення дослідження.* У склянки наливають воду. Зважують кожну елементарну пробу, закріплюють її в склянку з водою і встановлюють в гнізда приладу, під грузом 10гр. Через 10 хв елементарні проби із склянки виймають. Якщо на поверхні елементарних проб виявляють краплі води, їх обережно видаляють фільтрувальним папером і зважують.

Водопоглинання (В) в процентах вираховують за формулою (2.7):

$$B = \frac{(m_5 - m)}{m} \cdot 100\%, \quad (2.7)$$

де  $m_5$  – маса елементарної проби до випробування, г;

$m$  – маса елементарної проби після випробування, г.

## **2.2.6. Визначення показників паропроникності та вологопоглинання нетканих матеріалів**

Дослідження проводили за методом визначення паропроникності та вологопоглинання в неізотермічних умовах згідно ДСТУ 17229:2009 [118]. Сутність показника паропроникності полягає в визначенні ваговим методом кількості парів води, що пройшла через одиницю площі зразка за одиницю часу в неізотермічних умовах.

*Метод відбору елементарних проб.* Від відібраного для випробування рулону відрізають точкову пробу, з різних місць якої на відстані не менше 50 мм від кромки заготовляють елементарні проби діаметром  $(42,0 \pm 0,5)$  мм. Кількість елементарних проб - 5 зразків з компонентом льон і 5 зразків з ПЕТФ.

*Апаратура і реактиви.* Для проведення випробування застосовують: камеру (ексикатор), що забезпечує автоматичне регулювання і стабільну підтримку в робочому обсязі відносної вологості повітря  $65 \pm 5\%$ , температури  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  і розміщення в ній нагрівального приладу з 12 пронумерованими склянками з корозійностійкого матеріалу. Розміри склянок склали: діаметр робочого отвору в кришці, внутрішні діаметри отворів склянки, гумової і металевих прокладок - 40 мм (утворюють робочий отвір площею  $10 \text{ см}^2$ ); висота від дна склянки до його заплечика

–  $(40,0 \pm 0,2)$  мм; зовнішній діаметр гумової прокладок –  $(41,0 \pm 0,2)$  мм. Ваги лабораторні, що забезпечують похибку зважування не більше 0,0001 г; воду дистильовану за ГОСТ 6709.

*Проведення випробування.* У кожен склянку наливають  $25 \pm 1$  мл дистильованої води. На заплічок склянки розміщують гумову прокладку, елементарну пробу лицьовою або виворітною стороною до води, в залежності від того, яка сторона при експлуатації контактує з парами води, фіксуємо гумовою прокладкою. Якщо необхідно визначити вологопоглинання при визначенні паропроникності, елементарні проби перед закріпленням до склянки зважують. Кожну склянку з елементарною пробєю до випробування зважують і встановлюють в гнізда приладу на 24 год. Через 24 год склянки з елементарними пробами виймають з приладу і знову зважують.

#### *Обробка результатів*

Паропроникність в неізотермічних умовах ( $\Pi$ ) в  $\text{мг}/\text{см}^2 \cdot \text{год}$  обчислюють за формулою (2.8):

$$\Pi = (m_1 - m_2) \cdot 10^3 / 240 \quad (2.8)$$

де  $m_1$  – маса склянки з елементарної пробєю до випробування, г;

$m_2$  – маса склянки з елементарною пробєю після випробування, г;

160 – коефіцієнт, дорівнює  $S \cdot t$ ,

де  $S$  – робоча площа елементарної пробії ( $10 \text{ см}^2$ );

$t$  – час випробування (24 год).

Результат кожного випробування округлюють до першого десяткового знака. За остаточний результат випробування приймають середнє арифметичне результатів паралельних визначень, округлене до першого десяткового знака.

### **2.2.7. Визначення теплофізичних характеристик нетканих матеріалів**

З метою розширення сфери застосування нетканих матеріалів, одержаних із волокнистих відходів, досліджувались теплофізичні властивості за допомогою промислової установки ІТ-с-400, що призначена для дослідження температурної

залежності питомої масової ізобарної теплоємності твердих, сипких, волокнистих матеріалів і рідин порівняльним методом С – калориметра [119].

Зразок, що досліджується, розміщується всередині металевої ампули. До зразка і до ампули рівномірно і безперервно при сталому атмосферному тиску підводиться теплота через тепломір від основи (нагрівача). Використовується теплоізолювальна адіабатна оболонка для того, щоб теплота надходила тільки до ампули зі зразком.

Адіабатичність оболонки забезпечується тим, що її температура підтримується рівною температурі ампули за допомогою автоматичної системи. За рахунок постійного надходження теплоти ампула зі зразком постійно нагрівається.

Теплоємність визначалася за допомогою промислової установки – вимірювача теплоємності, який призначений для дослідження температурної залежності питомої масової ізобарної теплоємності твердих, сипких, волокнистих матеріалів і рідин [120]. В основу роботи вимірювача теплоємності покладено порівняльний метод С – калориметра з тепломіром і адіабатичною оболонкою. Для розрахунку питомої масової ізобарної теплоємності була використана розрахункова формула (2.10):

$$C_p = \frac{K_T}{m} (\tau - \tau_a) \quad (2.10)$$

де  $K_T$  – постійна вимірювача, що залежить від температурного рівня і визначається з досліду (наприклад, для еталонного зразка з міді);

$m$  – маса зразка, кг;

$\tau$  – час відставання температури на поверхнях тепломіра зі сторони нагрівача і ампули в досліді з ампулою, заповненою зразком матеріалу, с;

$\tau_a$  – час запізнювання температури на поверхнях тепломіра в досліді з пустою ампулою, с.

Час запізнювання температури з пустою ампулою при різних температурах визначають у першому досліді, час запізнювання зі зразком – у другому. Визначається час в процесі безперервного розігріву на різних рівнях температури (через 25 К) за допомогою мікрвольтнаноамперметра Ф-136 та секундоміра.

Перед дослідженнями волокнисті неткані матеріали витримували в стандартних кліматичних умовах із відносною вологістю повітря  $65 \pm 2\%$  і температурі  $20 \pm 2$  °C.

Таким чином, вибраний комплекс методів забезпечує всебічне дослідження властивостей нетканих матеріалів, зокрема визначення: розмірних та теплофізичних характеристик, деформаційних та релаксаційних властивостей, позників гігроскопічності, з метою встановлення найбільш раціональних напрямків їх застосування.

Відносна похибка обраних методів не перевищувала  $\pm 9\%$ , що забезпечує достовірність і відтворюваність результатів.

## **РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗМІРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИРОДНИХ ВОЛОКОН ПРИЗНАЧЕНИХ ДЛЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ НЕТКАНИХ МАТЕРІАЛІВ**

### **3.1. Морфометричний аналіз різних видів недеревних волокон**

При отриманні різних видів нетканих матеріалів важливим питанням є початкова ідентифікація та визначення розмірних показників природних волокон, що використовуються в технологічному процесі [121]. Якщо для синтетичних волокон ці характеристики чітко визначені і залежать від умов отримання, то для природних волокон розмірні характеристики (поперечний розмір) будуть визначатися властивостями вихідної сировини, біологічною природою, умовами отримання волокон з природно-рослинних компонентів. Крім того, в процесі отримання нетканих матеріалів можливі процеси механічного руйнування природних волокон, що будуть визначати кінцеві характеристики матеріалу. Все це показує актуальність дослідження вихідних розмірних характеристик природних волокон при виробництві нетканих матеріалів.

В даній роботі вивчено три типи природних волокон, що можуть бути використані як додатковий компонент при виготовленні нетканих композиційних матеріалів з синтетичних волокнистих відходів [122]. Ці волокна отримані з льону, конопель і бамбука. На рис. 3.1. наведені мікрофотографії в поляризованому світлі вихідних целюлозних волокон з різних видів недеревної сировини. Якісний аналіз зображень свідчить, що волокна конопель та льону мають схожі розмірні характеристики (рис. 3.1a,b), в той же час характеристики волокон бамбуку (рис. 3.1c) помітно відрізняються. Для волокон бамбуку є характерним суттєво менший поперечний розмір окремих мікрофібрил та їх менші повздовжні розміри.

Методом аналізу зображень визначені поперечні розміри волокон досліджених зразків. Гістограма розподілу за поперечним розміром волокон льону наведена на рис.3.2а. Для волокон льону (рис. 3.2а) найбільша частка волокон має поперечний розмір від 20 до 40 мкм. При цьому основна маса волокон (51%) відноситься до інтервалу від 20-50 мкм.

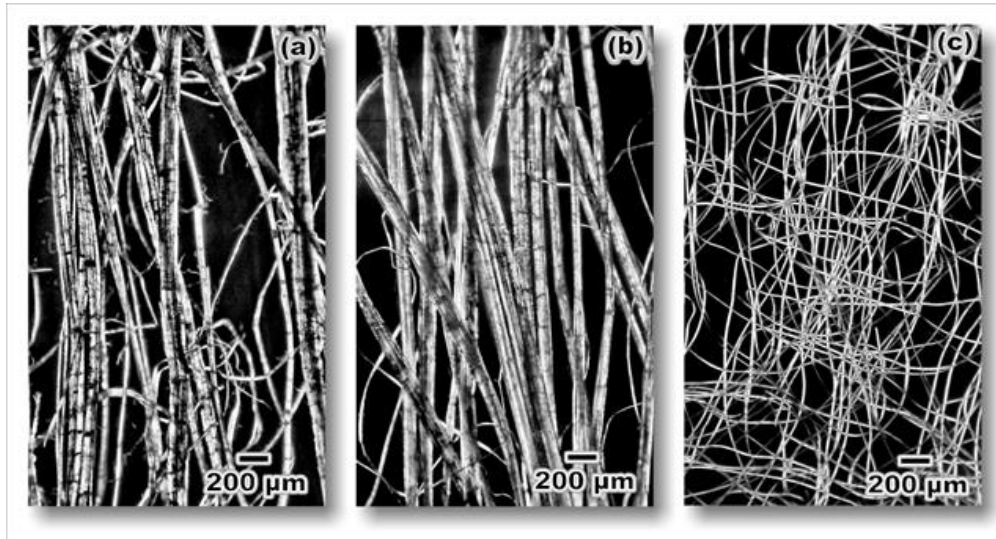


Рис. 3.1. Мікрофотографії в поляризованому світлі вихідних целюлозних волокон з різних видів недеревної сировини: а) льон; б) коноплі; с) бамбук

Частка волокон з найменшими поперечними розмірами становить 7%, в той же час з найбільшими поперечними розмірами ( $>100$  мкм) становить 14%.

Гістограма розподілу за поперечним розміром волокон конопель (рис 3.2б) якісно схожа з попередньою, але відрізняється кількісно. Найбільша частка волокон (21%) має поперечні розміри в інтервалі 20-40 мкм. Основна маса волокон  $\sim$  (49%) лежить в інтервалі 20-80 мкм. Частка найменших становить 2%, в інтервалі від 0-20 мкм. Частка найбільших становить 41% ( $>100$  мкм).

Як для волокон конопель так і для льону, гістограми розподілу за поперечним розміром мають несиметричну форму з довгим правим «хвостом», що свідчить про наявність в зразках волокон з великими (відносно середнього значення) поперечними розмірами.

Гістограма для волокон бамбуку якісно і кількісно відрізняється від двох попередніх. Ця гістограма має симетричну форму, а сам розподіл близький до нормального. Найбільша частка волокон становить  $\sim$  20%, має поперечні розміри в інтервалі 12-14 мкм, основна маса волокон (57%) лежить в інтервалі 12-18 мкм. Частка найменших волокон становить 9%, інтервал 3-10 мкм. Частка найбільших становить 11% лежить в інтервалі більше 20 мкм.

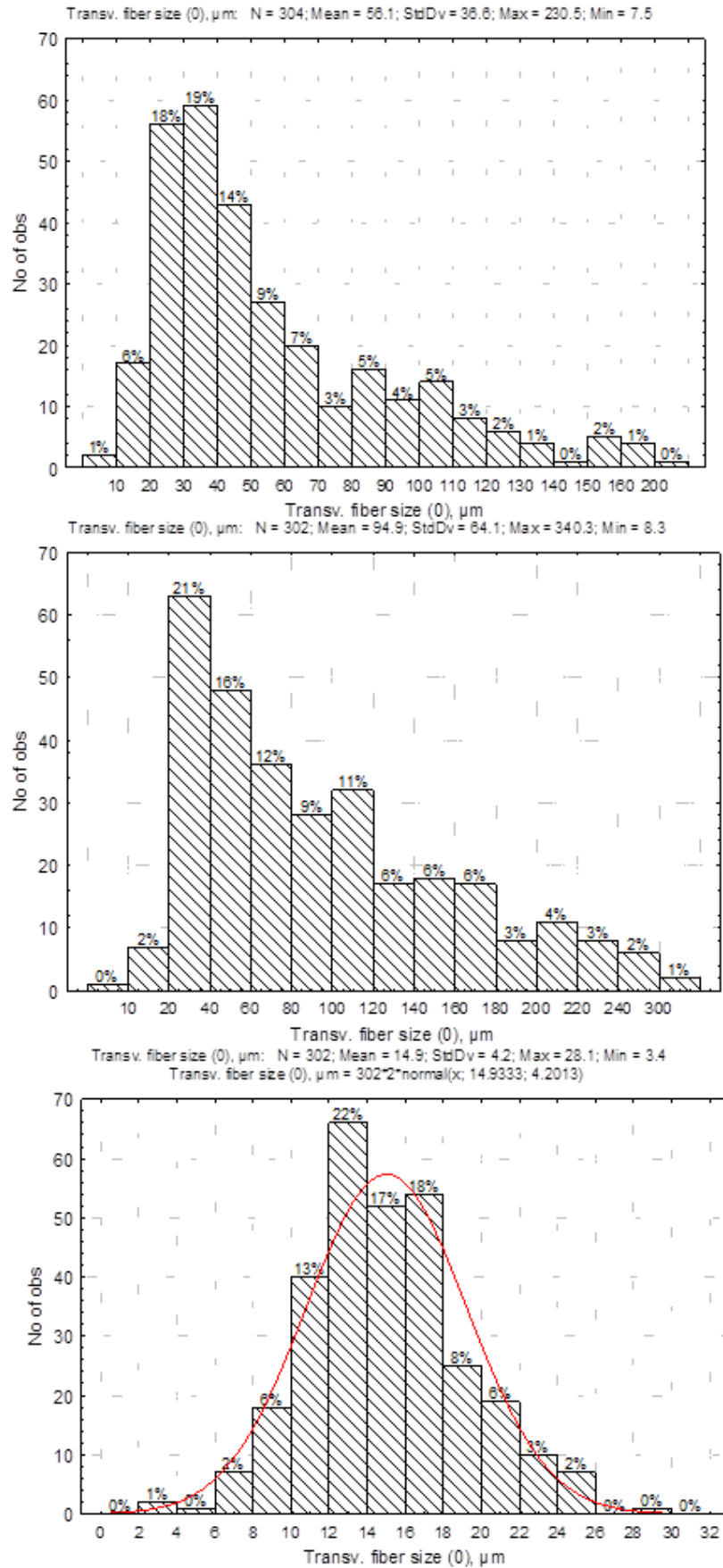


Рис. 3.2. Гістограми розподілу за поперечними розмірами вихідних зразків волокон: а) льону; б) конопель; в) бамбуку



Дослідження демонструють відмінність абсолютних значень розмірних характеристик природних волокон та їх характеру розподілу, що потрібно враховувати при подальшому одержанні нетканих матеріалів з прогнозованими фізико-хімічними властивостями. Повторне пропускання волокнистої сировини через чесальну машину є додатковим фактором, що сприяє зміні розміру волокон за рахунок їх розщеплення.

### **3.2. Аналіз впливу процесу механічного прочісування на розмірні характеристики природних волокон**

Класичний спосіб отримання нетканих матеріалів передбачає використання чесальних машин. Принцип роботи їх полягає в пропусканні волокнистого матеріалу через ряд валків з певною голкоподібною структурою в ході якого відбувається розподіл волокон по ширині зразка, їх змішування та орієнтація в напрямку розчісування [50]. Використання природних волокон додає складнощів в процесі контролю розмірних характеристик нетканих матеріалів при їх виготовленні. Це пов'язано з тим, що природні волокна мають виражену фібрилярну структуру та мають плоский поперечний переріз. В процесі взаємодії таких волокон з гарнітурою чесальної машини може відбуватися їх поздовжнє механічне руйнування. Як наслідок це призведе до того, що вихідні розмірні характеристики волокон в процесі чесання можуть змінюватися. Характер і ступінь такої зміни буде суттєво залежати як від природи й початкових розмірних характеристик природних волокон, так і від технологічних параметрів процесу чесання (тип чесальної машини, характеристика гарнітури, розводка чесальних циліндрів, швидкість обертання окремих циліндрів, кількість циліндрів, число циклів прочісування).

На рис 3.3 наведені мікрофотографії в поляризованому світлі структури волокон льону при різній кількості циклів прочісування. В процесі прочісування відбувається поздовжнє руйнування окремих волокон, яке поступово збільшується при зростанні кількості циклів цієї операції.

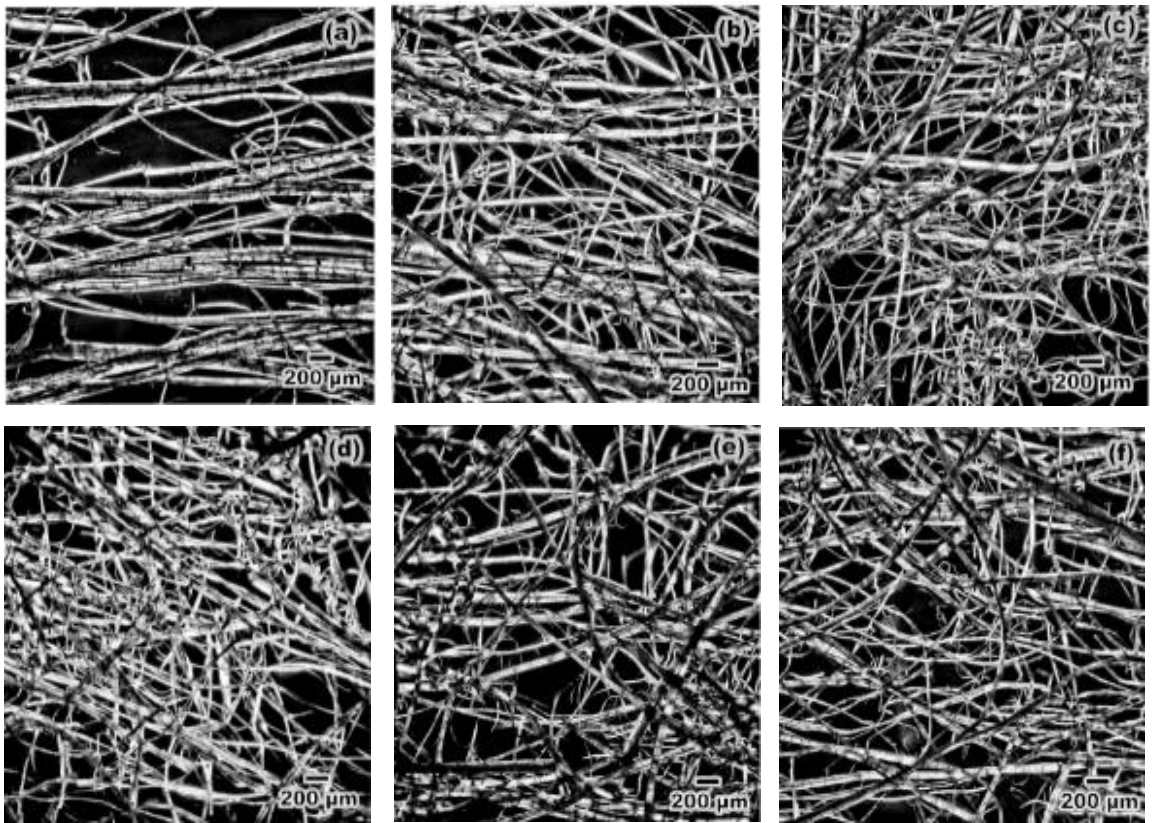


Рис. 3.3. Мікрофотографії в поляризованому світлі структури волокон льону при різній кількості прочісування: а) вихідне волокно; б) 1; в) 2; г) 3; д) 4; е) 5

Методом аналізу зображень було кількісно визначено зміну поперечних розмірів волокон льону в процесі прочісування (рис. 3.4-3.6). Гістограма розподілу за поперечним розрізом волокон льону наведена на рис. 3.4.

Як видно для волокон льону у вихідному стані (рис. 3.4а) найбільша частка волокон має поперечний переріз 20-40 мкм. При цьому основна маса волокон (51%) відноситься до інтервалу розподілу 20-50 мкм. Частка волокон з найменшими характеристиками становить 7%, в той же час з найбільшими поперечними розмірами становить 14% і мають розподіл більше 100 мкм.

Для волокон льону після 1-го почісування (рис. 3.4 б) найбільша частка волокон має поперечний переріз 20-40 мкм. При цьому основна маса волокон (62%) відноситься до інтервалу розподілу 20-50 мкм. Частка волокон з найменшими характеристиками становить 11%, в той же час з найбільшими подовженнями становить 14% і мають розмір більше 100 мкм.

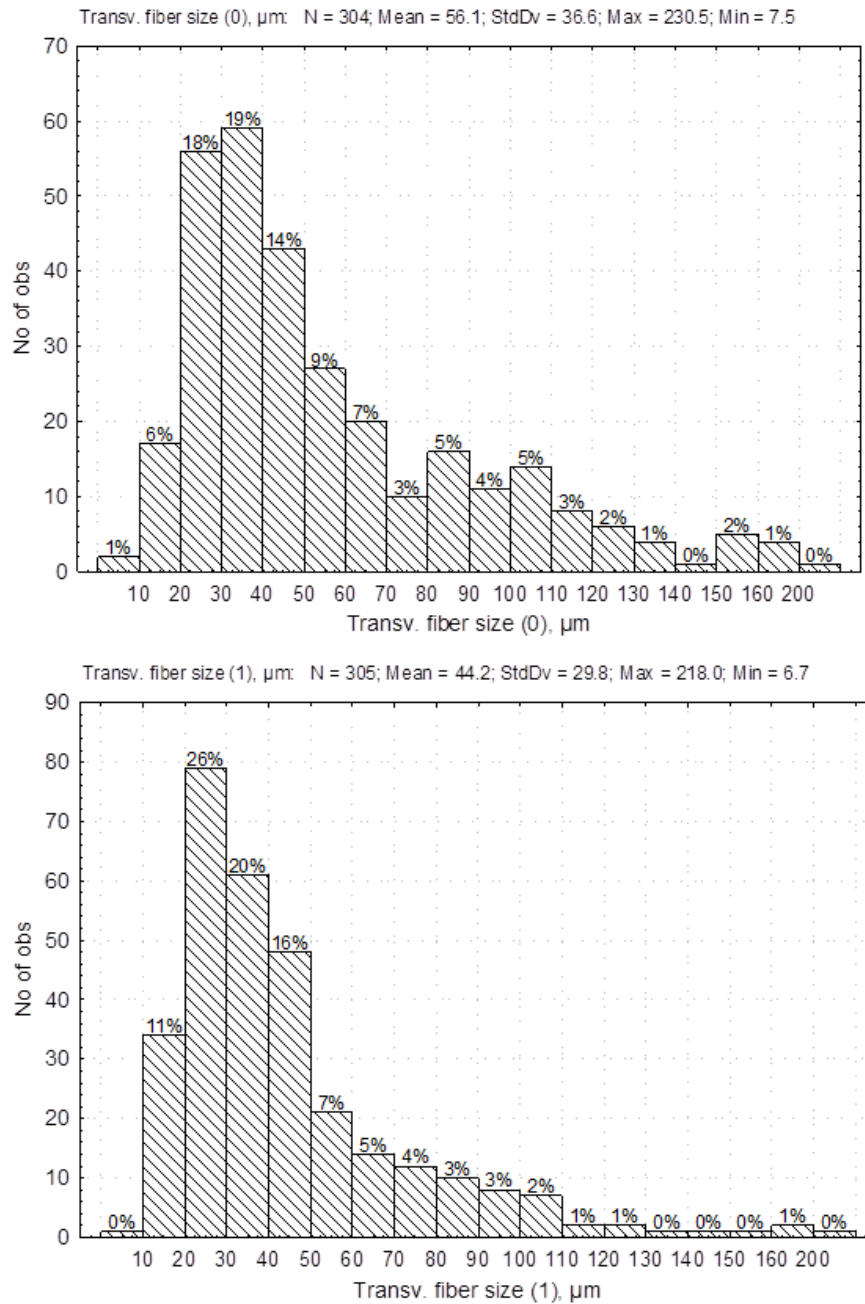


Рис. 3.4. Гістограми розподілу за поперечним розміром волокон льону: а) вихідний зразок; б) після 1-го прочісування

Гістограма розподілу за поперечним розміром волокон льону після 2-го прочісування представлена на рис. 3.5а. Як видно для волокон льону найбільша частка волокон має поперечний переріз 10-30 мкм. При цьому основна маса волокон (79%) відноситься до інтервалу 10-50 мкм. Частка волокон з найменшими характеристиками становить 1%, в той же час з найбільшими подовженнями становить 4% і мають розмір більше 100 мкм.

Для волокон льону після 3-го прочісування (рис.3.5 б) найбільша частка волокон має поперечний переріз 10-40 мкм. При цьому основна маса волокон (75%) відноситься до інтервалу від 20-50 мкм. Частка волокон з найменшими характеристиками становить 5%, в той же час з найбільшими подовженнями становить 1% і мають розмір більше 100 мкм.

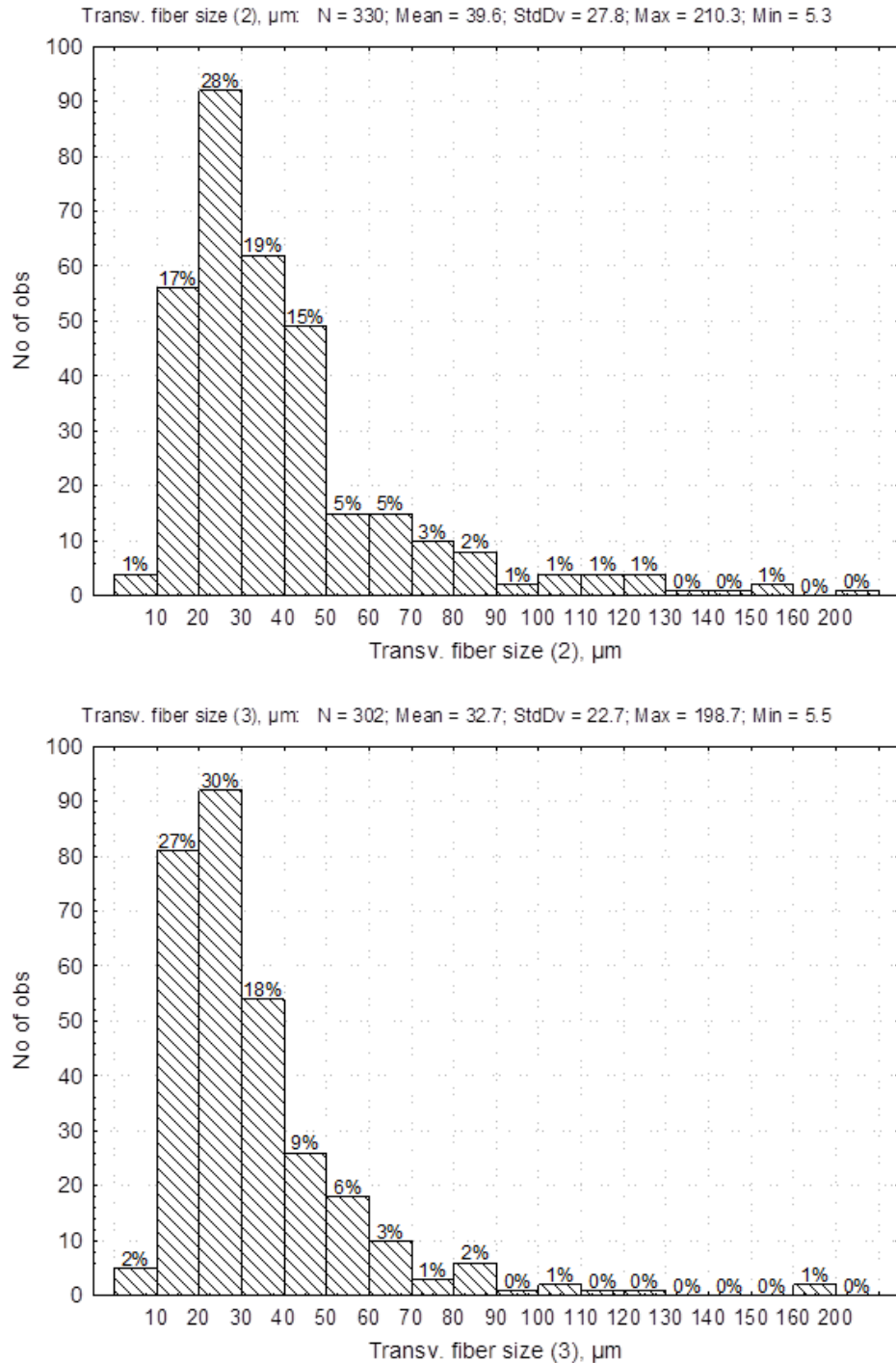


Рис. 3.5. Гістограми розподілу за поперечним розміром волокон льону: а) після 2-го прочісування; б) після 3-го прочісування

Для волокон льону після 4-го прочісування рис 3.6 (а) найбільша частка волокон має поперечний переріз 10-30 мкм. При цьому основна маса волокон (71%) відноситься до інтервалу 10-30 мкм. Частка волокон з меншими характеристиками становить 10%, в той же час частка волокон з найбільшими розмірами становить 3% і мають розмір більше 50 мкм.

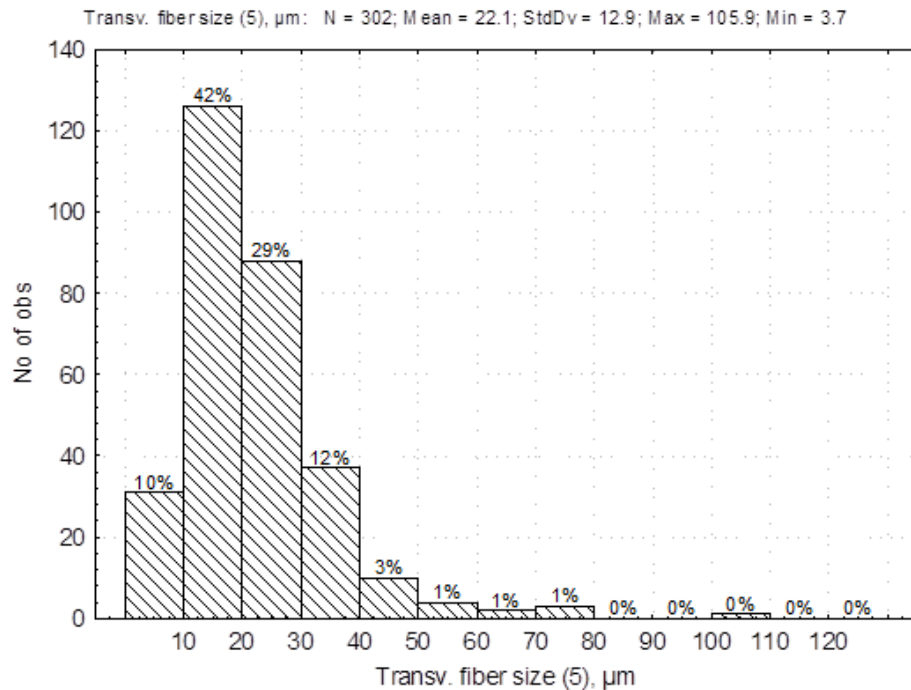
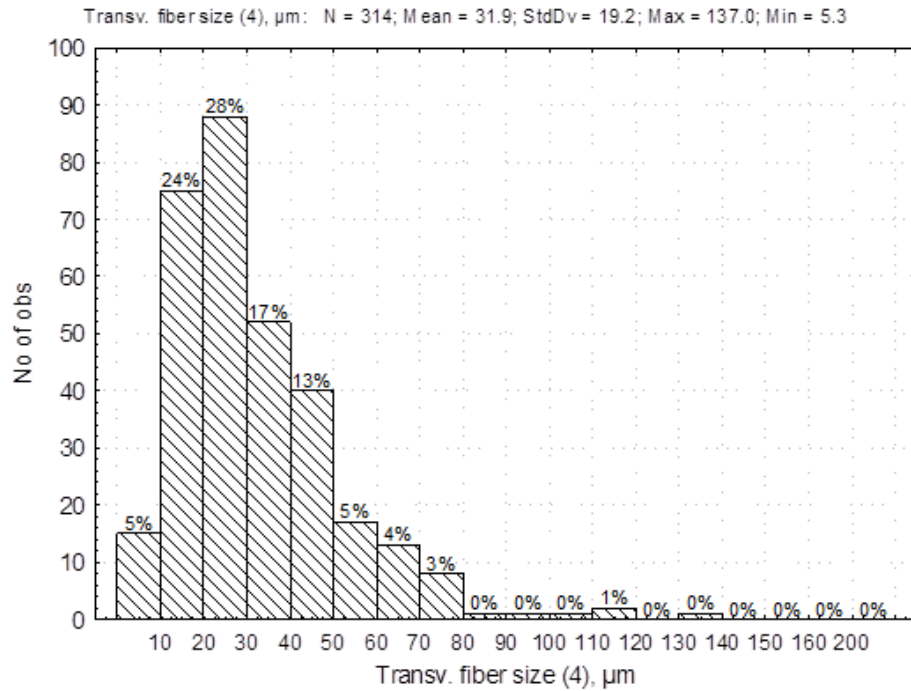


Рис. 3.6. Гістограми розподілу за поперечним розміром волокон льону: а) після 4-го прочісування; б) після 5-го прочісування

Результати дослідження зміни розмірних характеристик волокон льону в процесі прочісування були проаналізовані статистичними методами аналізу. Аналіз середньостатистичних значень розподілу (наведено у заголовках гістограм) свідчить, що збільшення кількості циклів прочісування до 5 призводить до зменшення середньостатистичних розмірів волокон у 4,2 рази (з 56.2 до 22.1 мкм) при цьому стандартне відхилення також зменшується ~ у 5 разів (з 56.6 до 12.9 мкм). Також відбувається зменшення загального інтервалу (Max/Min) волокон з 230.5/7.5 до 137/5.3 мкм.

На рис.3.7 наведені діаграми статистичних значень сукупності даних поперечних розмірів волокон льону в досліджуваних зразках.

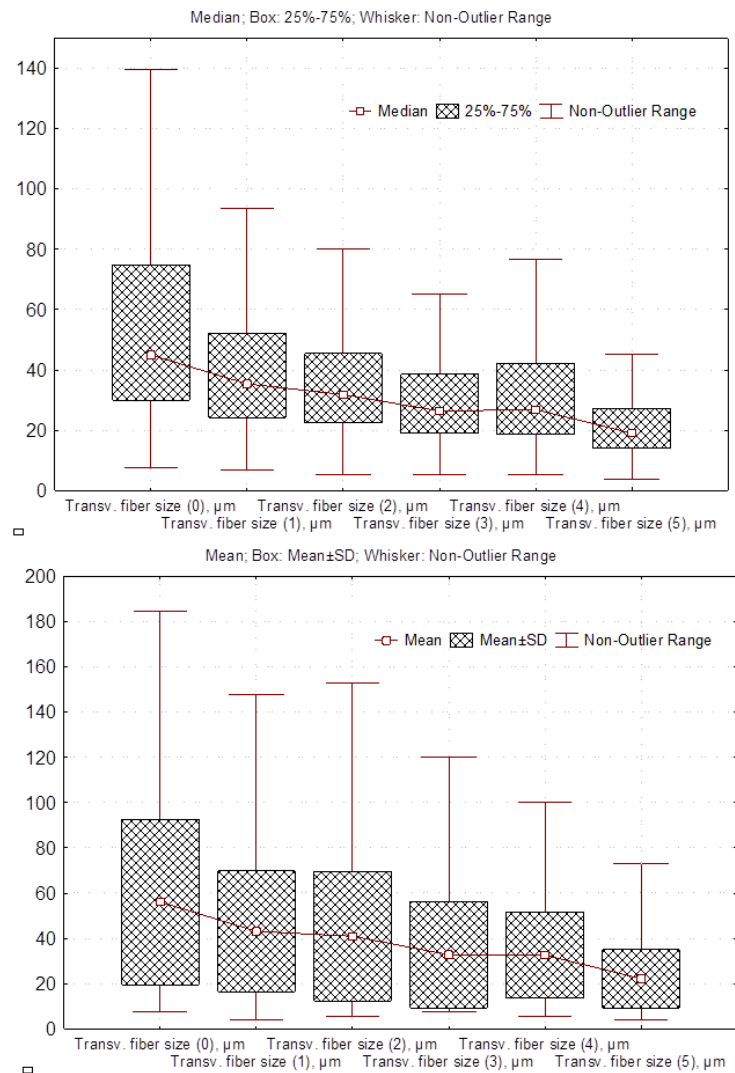


Рис.3.7. Діаграми розмаху (box-and-whiskers diagram) для співставлення статистичних значень сукупностей даних поперечних розмірів волокон льону в досліджених зразках

Результати дослідження на рис.3.7. демонструють тенденцію до зменшення середніх розмірних характеристик волокон льону при збільшенні циклів прочісування. «Вуса» на рис.3.7 відносяться до рідкісних спостережень; це дані, які, не відповідають характеристичному розподілу решти даних. Вони можуть відображати справжні властивості основного явища (змінної), або бути пов'язані з помилками вимірювання або іншими аномаліями.

На рис 3.8 наведені мікрофотографії в поляризованому світлі структури волокон конопель при різній кількості прочісування. З нього видно, що як і для льону, в процесі прочісування відбувається поздовжнє руйнування окремих волокон, яке поступово збільшується при зростанні кількості циклів операцій.

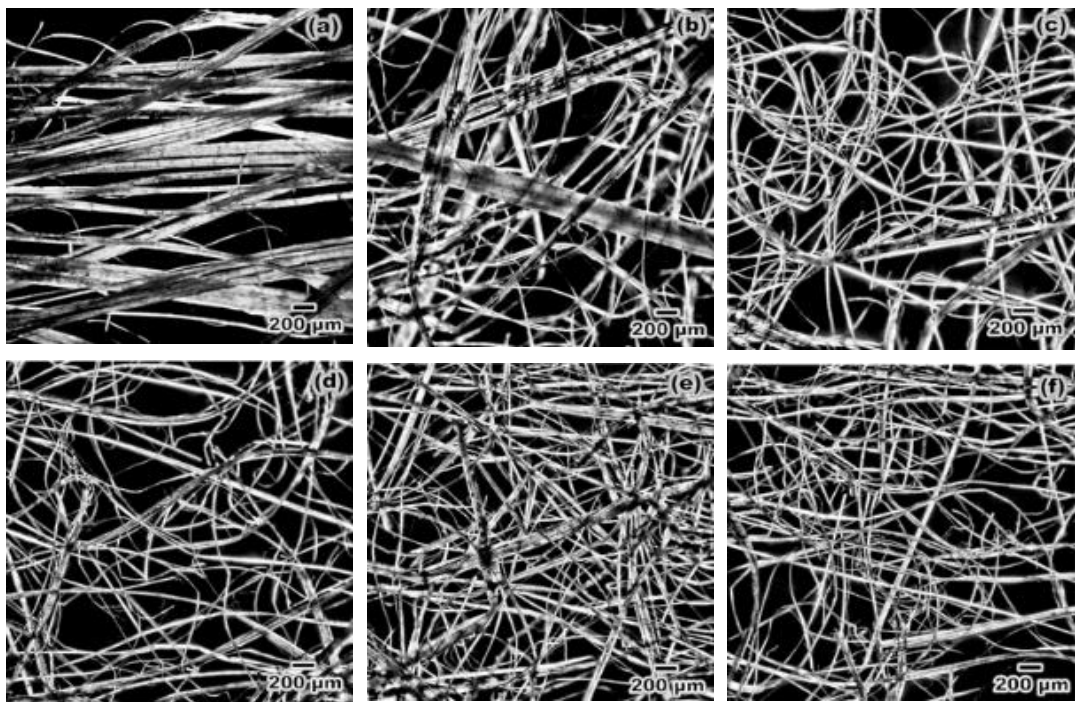


Рис.3.8. Мікрофотографії в поляризованому світлі структури волокон конопель при різній кількості прочісування: а) вихідне волокно; б) 1; с) 2; d) 3; e) 4; f) 5

Методом аналізу зображень було визначено зміну поперечних розмірів волокон конопель в процесі прочісування (рис. 3.9-3.11). Гістограма розподілу за поперечним перерізом волокон конопель наведена на рис.3.9. Як видно для волокон конопель у вихідному стані (рис. 3.9 а) найбільша частка волокон має поперечний переріз 20-80 мкм. При цьому основна маса волокон (69%) відноситься до інтервалу 20-120 мкм.



Частка волокон з найменшими розмірами становить 2%, в той же час з найбільшими поперечними розмірами становить 44% ( $> 100$  мкм).

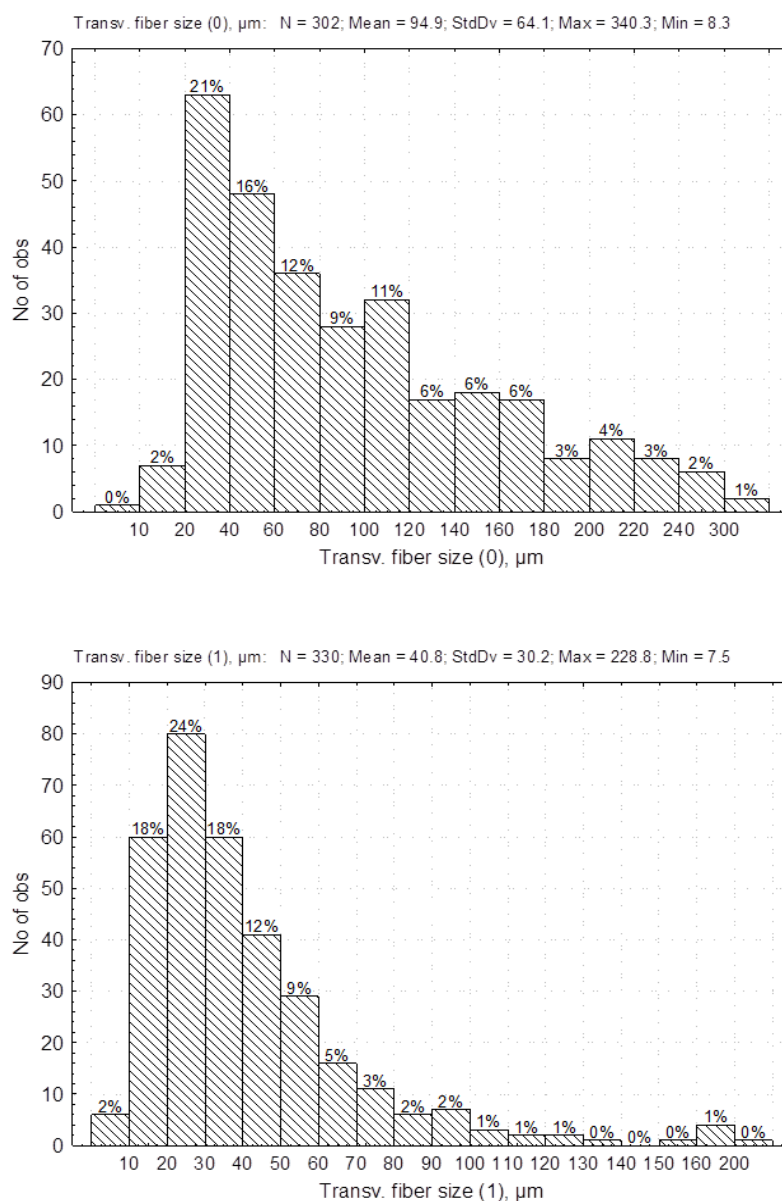


Рис. 3.9. Гістограми розподілу за поперечним розміром волокон конопель: а) вихідний зразок; б) після 1-го прочісування

Для волокон конопель після 1-го прочісування (рис. 3.9 б) найбільша частка волокон має поперечний переріз 10-40 мкм. При цьому основна маса волокон (72%) відноситься до інтервалу 10-50 мкм. Частка волокон з найменшими розмірами становить 2%, в той же час з найбільшими розмірами становить 4% ( $> 100$  мкм).



Як видно з рис. 3.10а, для волокон конопель після 2-го прочісування найбільша частка волокон має поперечний переріз 10-50 мкм. При цьому основна маса волокон (81%) відноситься до інтервалу 10-50 мкм. Частка волокон з найменшими розмірами становить 2%, в той же час з найбільшими - 2% ( $> 100$  мкм).

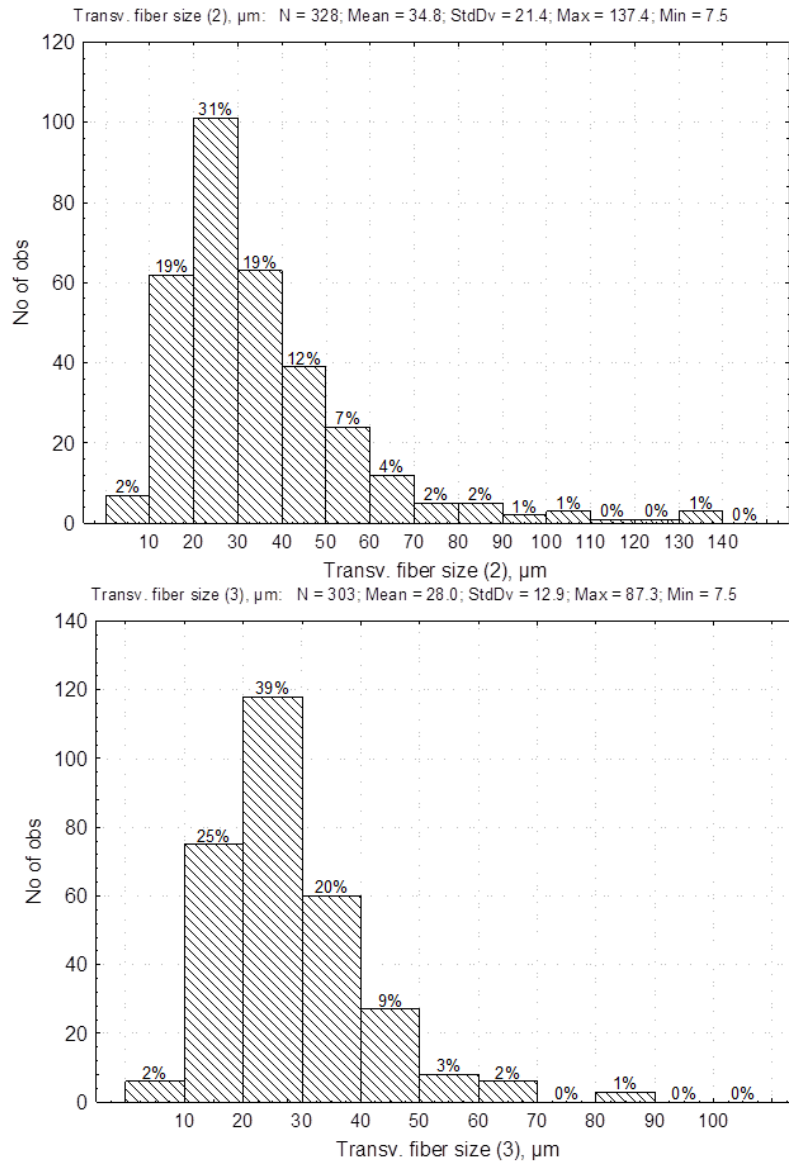


Рис. 3.10. Гістограми розподілу за поперечним розміром волокон конопель: а) після 2-го прочісування; б) після 3-го прочісування

Для волокон конопель після 3-го почісування (рис. 3.10б) найбільша частка волокон має поперечний переріз 10-40 мкм. При цьому основна маса волокон (84%) відноситься до інтервалу 10-40 мкм. Частка волокон з найменшими характеристиками становить 2%, в той же час з найбільшими розмірами становить 1% ( $> 80$  мкм).

Як видно для волокон конопель після 4-го прочісування (рис.3.11а) найбільша частка волокон має поперечний переріз 10-35 мкм. При цьому основна маса волокон (85%) відноситься до інтервалу 10-35 мкм. Частка волокон з найменшими характеристиками становить 2%, в той же час з найбільшими розмірами становить 2% (> 50 мкм).

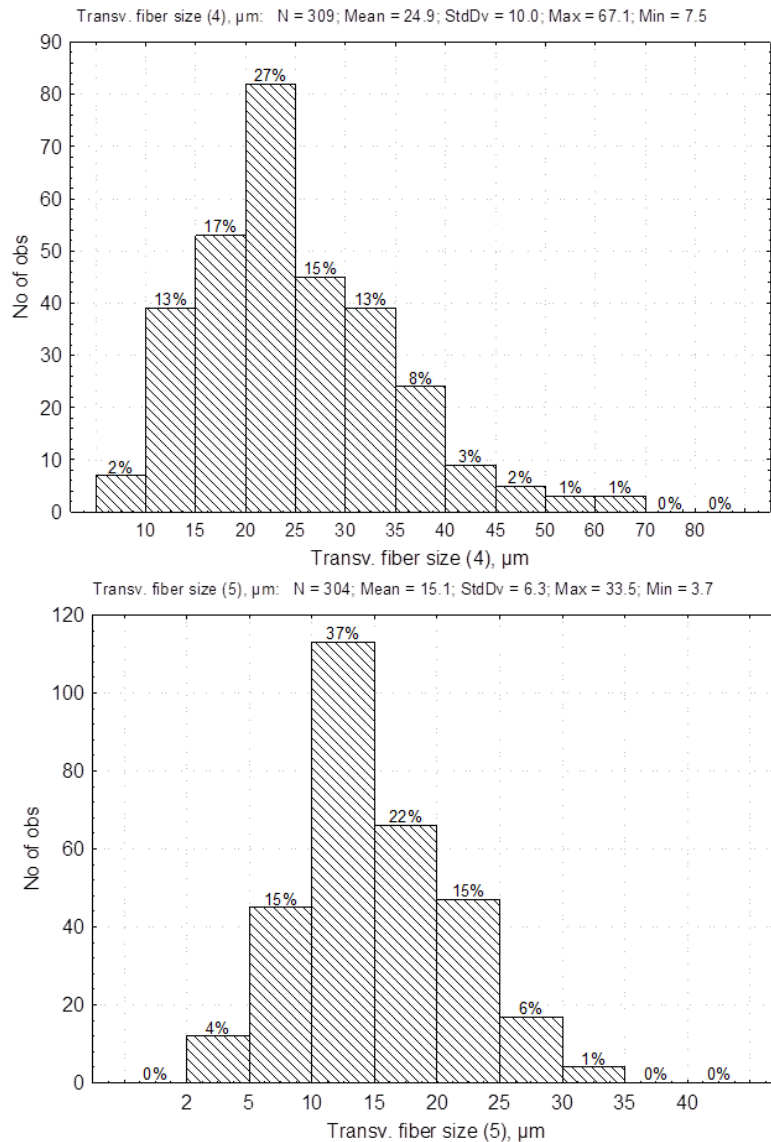


Рис. 3.11. Гістограми розподілу за поперечним розміром волокон конопель: а) після 4-го прочісування; б) після 5-го прочісування

Для волокон конопель після 5-го почісування (рис. 3.11б) найбільша частка волокон має поперечний переріз 5-25 мкм. При цьому основна маса волокон (89%) відноситься до інтервалу 5-25 мкм. Частка волокон з найменшими розмірами становить 4%, в той же час з найбільшими розмірами становить 1% (> 50 мкм).

Результати дослідження зміни поперечних розмірів волокон конопель в процесі прочісування були проаналізовані статистичним методом. Аналіз середньостатистичних значень розподілу (наведено у заголовках гістограм) свідчить, що збільшення кількості циклів прочісувань до 5 призводить до зменшення середньостатистичних розмірів волокон у 6,3 рази (з 94,9 до 15,1 мкм) при цьому стандартне відхилення розподілу також зменшується ~ у 10.2 рази (з 64,1 до 6,3). Також відбувається зменшення загального інтервалу (Max/Min) волокон з 340,3/8,3 до 33,5/3,7 мкм.

На рис.3.12 наведені діаграми розмаху статистичних значень сукупності даних поперечних розмірів волокон конопель в досліджуваних зразках. Вони демонструють тенденцію до зменшення середніх розмірних характеристик волокон льону при збільшенні циклів прочісування.

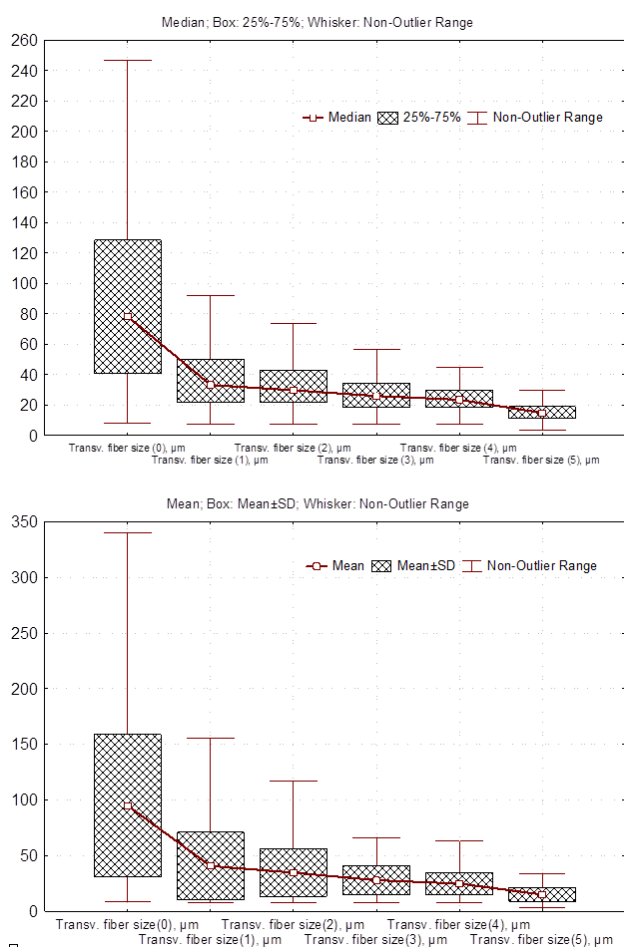


Рис.3.12. Діаграми розмаху (box-and-whiskers diagram) для співставлення статистичних значень сукупностей даних поперечних розмірів волокон конопель в досліджених зразках

Результати кореляційного аналізу взаємозв'язку між середнім арифметичним значенням поперечних розмірів волокон льону та коноплі та числом циклів прочісування представлено на рис 3.13.

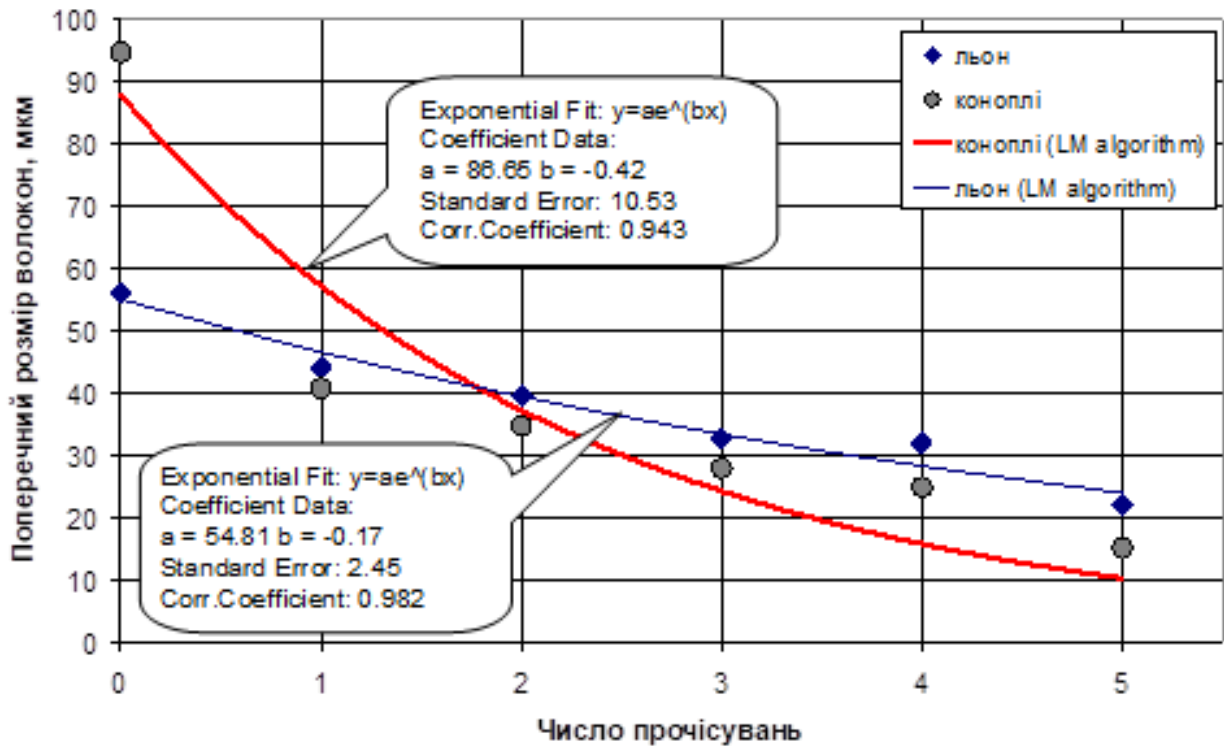


Рис. 3.13. Кореляційний взаємозв'язок між середнім арифметичним значенням поперечних розмірів волокон льону й коноплі та числом циклів прочісування

Можна бачити, що залежності між цими показниками носять нелінійний характер, та можуть бути апроксимовані експоненціальним рівнянням виду  $Y = a \cdot \exp(-bx)$  з відповідними емпіричними коефіцієнтами (наведені на рис 5). Інтерпретуючи показник  $b$  в цьому рівнянні як константу швидкості процесу, можна стверджувати, що при збільшенні кількості прочісувань, швидкість зміни поперечних розмірів волокон коноплі ( $b=0,42$ ) ~ в 2,5 рази більше чим для волокон льону ( $b=0,17$ ).

Зазвичай, початкові розмірні характеристики волокон є одним із технологічних факторів при виборі сировини для отримання нетканих матеріалів з певними властивостями. Особливістю целюлозних волокон, що пов'язана з їх фібрилярною структурною організацією, є здатність змінювати свої поздовжні та поперечні розміри в процесі переробки.

Результати досліджень демонструють різну інтенсивність процесу зменшення поперечних розмірів волокон льону та коноплі при збільшенні числа циклів їх механічної переробки, що потребує врахування цього фактору при одержанні нетканих матеріалів з прогнозованими властивостями.

Таким чином, методом кореляційного аналізу показано, що швидкість зміни середніх поперечних розмірів волокон коноплі в процесі багаторазового прочісування ~ в 2,5 рази більша ніж для волокон льону [39].

### **3.3. Моделювання структури композиційних нетканих матеріалів**

Існує декілька методів побудови двовимірних моделей структури нетканих матеріалів. Вони засновані на використанні растрових зображень графічних примітивів, розташованих в просторі за певним законом [123; 124].

В даній роботі для побудови модельних систем нетканих матеріалів із заданим характером розподілу окремих волокнистих елементів пропонується використання спеціального програмного продукту «Spray».

Особливістю цього програмного забезпечення є використання для побудови лінійних об'єктів векторних технологій, що дозволяє дуже гнучко регулювати структурні характеристики на рівні окремих елементів в залежності від початкових умов побудови. До таких відносяться число об'єктів; довжина об'єктів; ступінь розкиду об'єктів по довжині; максимальний кут просторової орієнтації об'єктів, тобто інтервал, в якому змінюється цей показник.

На рис 3.14 наведені двовимірні векторні моделі нетканого волокнистого матеріалу, що демонструють вплив кута орієнтації окремих волокон на структуру матеріалу.

Умови побудови (наведені зверху моделей): число об'єктів/довжина/розкид по довжині/максимальний кут орієнтації.

Поступова зміна кута орієнтації окремих структурних елементів дозволяє переходити від моделей, де всі волокна орієнтовані в одному напрямку до моделей, де волокна орієнтовані хаотичним способом.

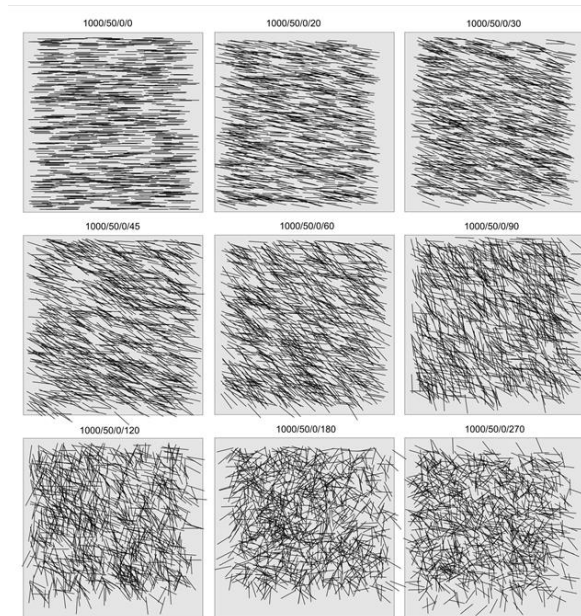


Рис.3.14. Двовимірні векторні моделі нетканого волокнистого матеріалу, що демонструють вплив кута орієнтації окремих волокон на структуру матеріалу

На рис 3.15 наведені двовимірні векторні моделі нетканого волокнистого матеріалу, що демонструють вплив довжини окремих волокон на структуру матеріалу. Умови побудови (наведені зверху): число об'єктів/довжина/розкид по довжині/максимальний кут орієнтації. Зменшення довжини волокон при їх незмінній кількості призводить до поступового зменшення кількості ділянок, де окремі волокна перехрещуються.

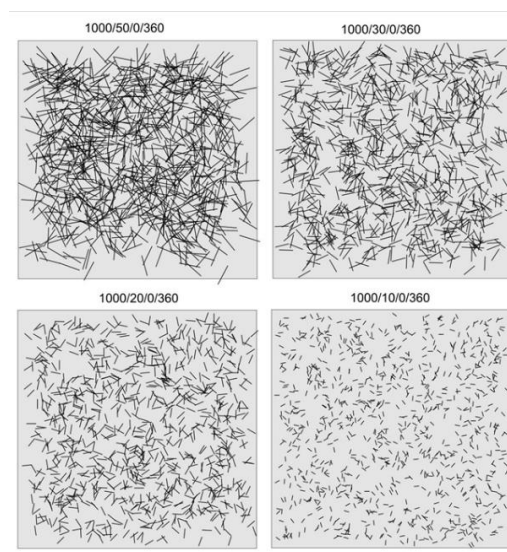


Рис.3.15. Двовимірні векторні моделі нетканого волокнистого матеріалу, що демонструють вплив довжини окремих волокон на структуру матеріалу

На рис 3.16 наведені двовимірні векторні моделі нетканого волокнистого матеріалу, що демонструють вплив розкиду по довжині окремих волокон на структуру матеріалу. Умови побудови (наведені зверху): число об'єктів/довжина/розкид по довжині/максимальний кут орієнтації. Зміна цього показника дозволяє отримати моделі з різним ступенем однорідності розподілу волокон на площині зразка.

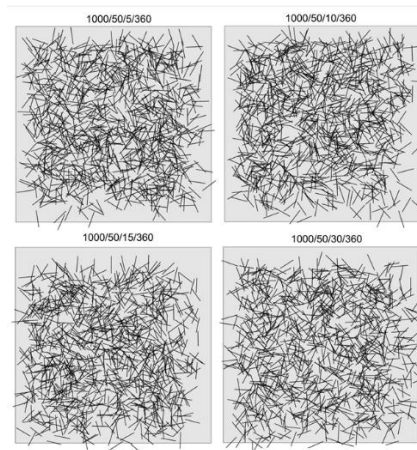


Рис.3.16. Двовимірні векторні моделі нетканого волокнистого матеріалу, що демонструють вплив розкиду по довжині окремих волокон на структуру матеріалу

Треба зазначити, що особливістю використання векторного підходу в програмному продукті «Spray» є можливість генерування структур з певними параметрами у кількох послідовних циклах з наступним виділенням та їх комбінацією в єдиній моделі (рис. 3.17)

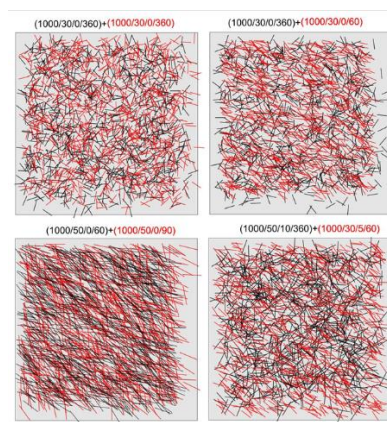


Рис.3.17. Двовимірні векторні моделі композиційного нетканого матеріалу, що демонструють вплив умов побудови для окремих (виділено кольором) волокнистих компонентів на структуру матеріалу



В результаті можна отримати моделі композиційного нетканого матеріалу з двох або більше окремих волокнистих компонентів, розподілених на площині за певним законом.

Це дає можливість аналізу взаємодії окремих волокнистих компонентів в композиційному матеріалі та охарактеризувати його структуру. Побудовані двовимірні моделі нетканого матеріалу можуть бути використані при розробці методу оцінки орієнтації волокон в матеріалі методом аналізу зображень.

На рис 3.18 наведений принцип вимірювання переважної орієнтації окремих волокон на прикладі двовимірної векторної моделі композиційного нетканого матеріалу. Умови побудови моделі: 1000/50/0/45 (число об'єктів/довжина/розкид по довжині/максимальний кут орієнтації).

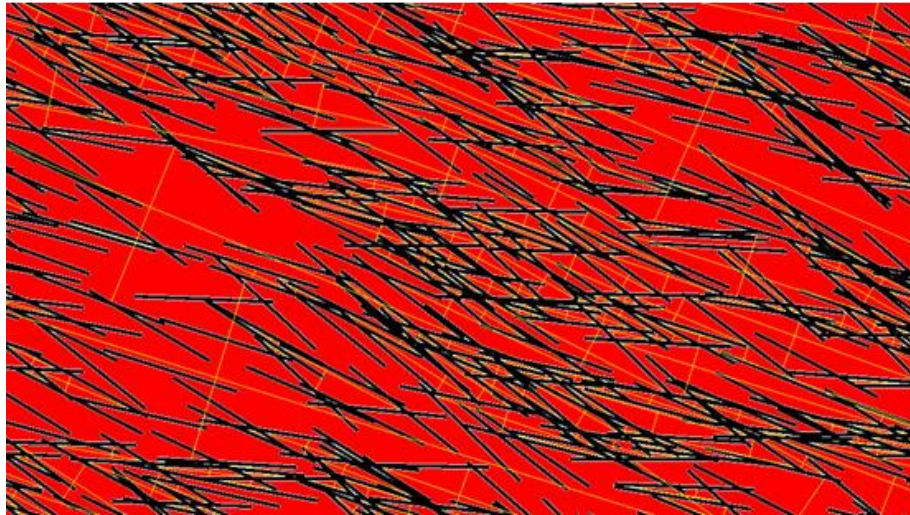


Рис.3.18. Принцип вимірювання переважної орієнтації окремих волокон на прикладі двовимірної векторної моделі композиційного нетканого матеріалу.

Гістограма кількісного визначення орієнтації окремих волокон наведена на рис 3.19. Умови побудови моделі: 1000/50/0/45 (число об'єктів/довжина/розкид по довжині/максимальний кут орієнтації).

Дослідженнями підтверджено, що метод аналізу зображень дає адекватні результати з точки зору визначення переважної орієнтації та розкиду орієнтації волокон відносно середнього для побудованих модельних систем.



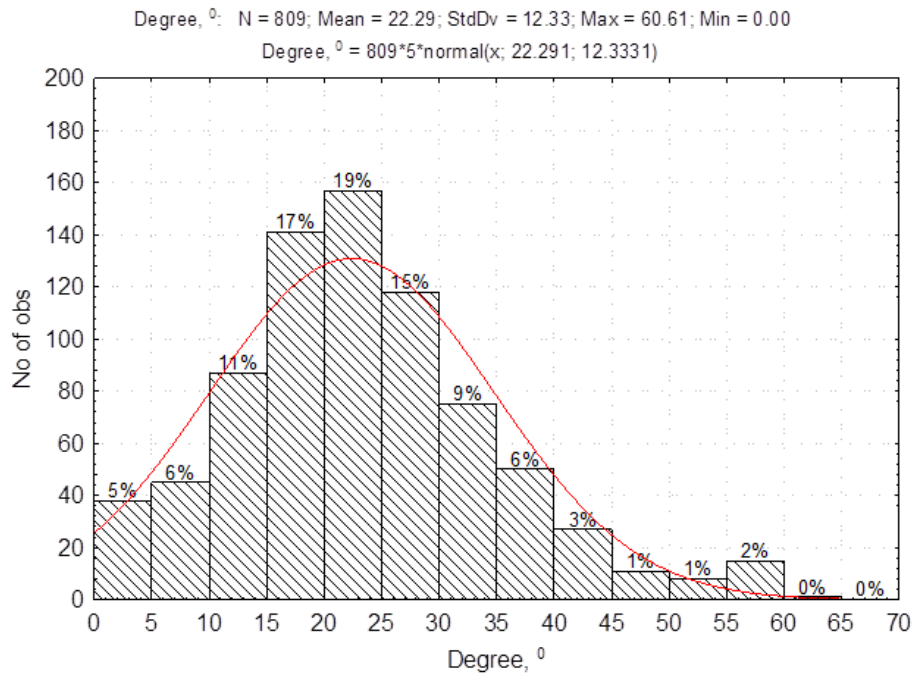


Рис.3.19. Гістограма розподілу волокон за кутом орієнтації для двовимірної векторної моделі композиційного нетканого матеріалу.

Дослідженнями підтверджено, що зміна середніх поперечних розмірів недеревних природних волокон та характер їх розподілу залежить від числа циклів механічної переробки та впливає на однорідність нетканого матеріалу.

Однорідність матеріалу відіграє важливу роль при виготовленні нетканих матеріалів гокопробивним методом скріплення та впливає на варіативність фізико-механічних характеристик готового продукту, в першу чергу на показники: поверхової щільності, міцності, гігроскопічності, теплофізичних властивостей.

## РОЗДІЛ 4. ВЛАСТИВОСТІ ГОЛКОПРОБИВНИХ НЕТКАНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ ВОЛОКНИСТИХ ВІДХОДІВ ПУ/ПА-6,6

### 4.1. Формування та визначення структурних особливостей нетканих матеріалів

Для отримання НМ проводився ряд технічних операцій, таких як: підготовка сировинного матеріалу, формування волокнистої основи із суміші волокон, формування волокнистого холста механічним способом на лабораторній чесальній машині ЧБВ-1, скріплення нетканого полотна голкопробивним способом.

Для поліпшення структурних та фізико-механічних характеристик у вихідну сировину, як додатковий компонент додавали від 10 до 50% волокон ПЕТФ. Готові вироби з вмістом волокон поліетилентерефталату через ряд переваг перед іншими видами синтетичних волокон використовують як утеплювачі для одягу, шумоізоляційні матеріали, абсорбуючі елементи.

На рис. 4.1. представлені цифрові зображення поверхні зразків нетканих матеріалів складу (ПУ/ПА-6,6)/ПЕТФ з різним вмістом ПЕТФ волокон від 10 до 50%, отриманих голкопробивним способом.

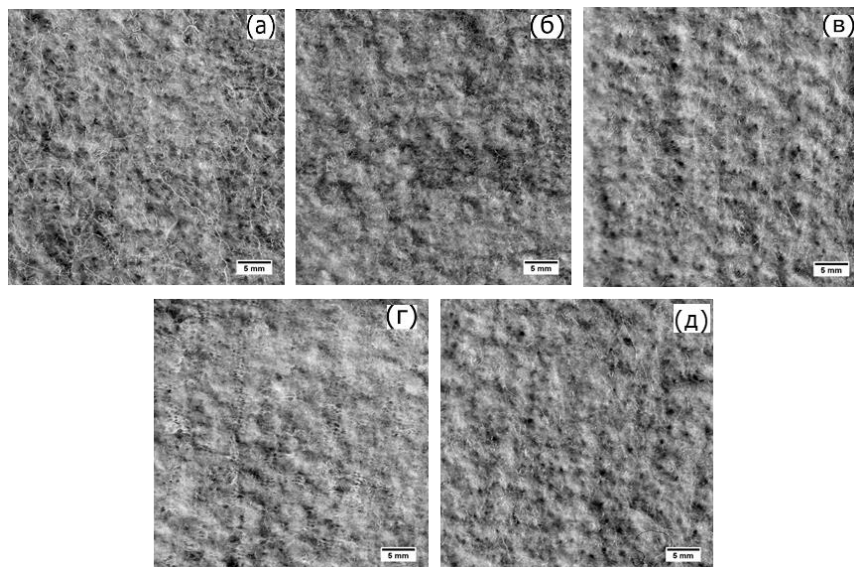


Рис 4.1. Зображення поверхні нетканих матеріалів, голкопробивним способом. Волокнистий склад матеріалу, мас. %: ПУ/ПА-6,6 (100) (а); (ПУ/ПА-6,6)/ ПЕТФ (50/50) (б); (ПУ/ПА-6,6)/ ПЕТФ (60/40) (в); (ПУ/ПА-6,6)/ ПЕТФ (70/30) (г); (ПУ/ПА-6,6)/ПЕВГ (80/20) (д)

З рис. 4.1. видно, що додавання ПЕТФ волокон впливає на характер структури поверхні нетканого матеріалу.

Методом фрактального аналізу зображень поверхні зразків нетканих матеріалів з визначенням фрактальної розмірності («*box-counting*» метод, *SDBC* алгоритм) було виконано кількісне визначення текстурних показників нетканих матеріалів. Фрактальна розмірність характеризує геометричну складність просторової організації об'єктів зображення, та є непрямою характеристикою його неоднорідності.

На рис. 4.2. наведено приклад розрахунку фрактальної розмірності «*box-counting*» методом при аналізі зображень поверхні нетканих матеріалів (ПУ/ПА-6,6)/ПЕТФ з різним вмістом ПЕТФ, отриманих голкопробивним способом.

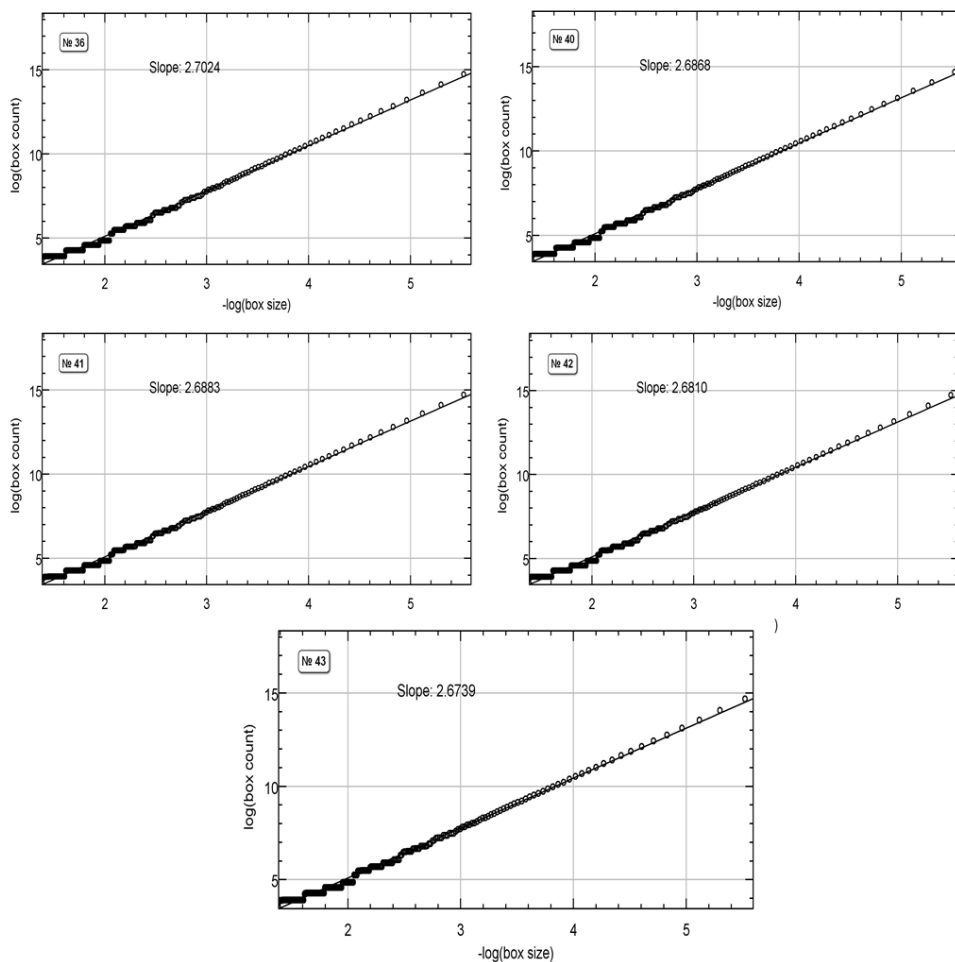


Рис 4.2. Результати розрахунку фрактальної розмірності при аналізі зображень поверхні нетканих матеріалів (ПУ/ПА-6,6)/ПЕТФ з різним вмістом ПЕТФ, отриманих голкопробивним способом

Залежність між розміром комірки та їх кількістю, що містять елементи структури, близька до лінійної (в логарифмічних координатах), що узгоджуються з теоретичними положеннями цього методу.

Результати фрактального аналізу наведені на рис. 4.3. наведені залежності фрактальної розмірності для поверхні нетканих матеріалів від кількості додаткового компонента: (ПУ/ПА-6,6)/ПЕТФ (а), та (ПУ/ПА-6,6)/Льон (б).

З даних, наведених на діаграмі видно, що при додаванні вже 10 мас.% ПЕТФ у нетканий матеріал (ПУ/ПА-6,6) показник фрактальної розмірності зменшується до 2,68. При подальшому збільшенні вмісту ПЕТФ до 20 мас.% фрактальна розмірність майже не зменшується.

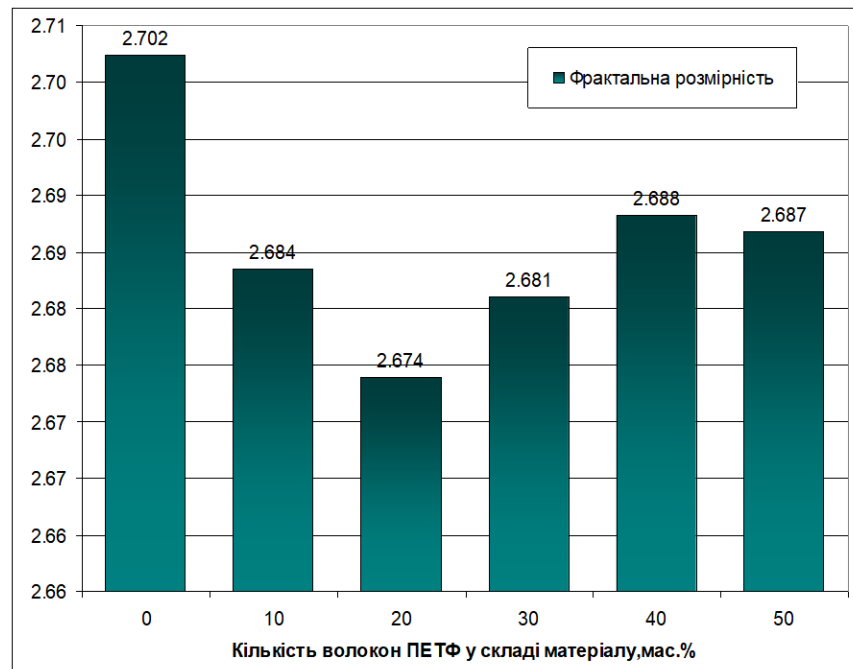


Рис 4.3. Залежності фрактальної розмірності для поверхні нетканих матеріалів від кількості додаткового компонента: (ПУ/ПА-6,6)/ПЕТФ(а). Фрактальний аналіз зображень («*boxcounting*» метод, *SDBC* алгоритм)

Для зразка, що вміщує 20 мас.% ПЕТФ волокон спостерігається найменше значення фрактальної розмірності серед усіх досліджених зразків. Для нетканих матеріалів, що вміщували 30-50% ПЕТФ значення фрактальної розмірності нетканих матеріалів дещо вище за попередній випадок (2,68-2,69), але в цілому вони є нижчими за вихідний зразок (ПУ/ПА-6,6).

Встановлено, що додавання у вихідну ПУ/ПА-6,6 волокнисту суміш 10-50 мас.% волокон ПЕТФ зменшує показник фрактальної розмірності матеріалів, тобто сприяє збільшенню однорідності їх структури. При цьому, найвищу однорідність демонструє зразок матеріалу (ПУ/ПА-6,6)/ПЕТФ складу 80/20.

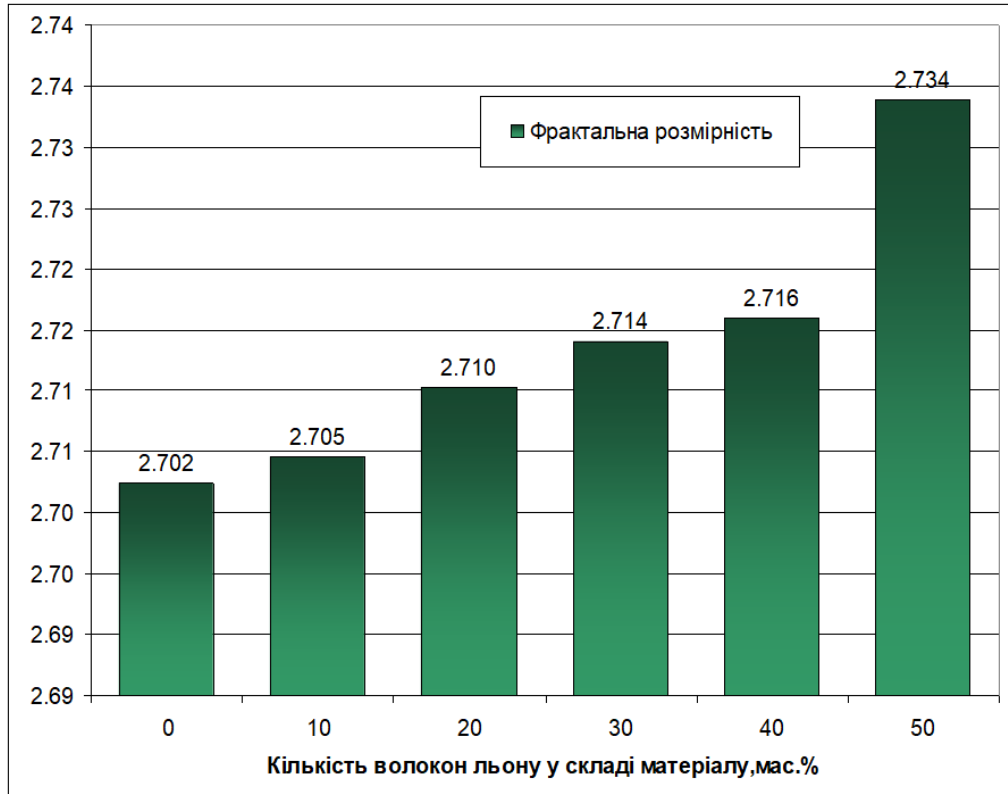


Рис 4.3. Залежності фрактальної розмірності для поверхні нетканих матеріалів від кількості додаткового компонента: (ПУ/ПА-6,6)/Льон (б). Фрактальний аналіз зображень («*boxcounting*» метод, *SDBC* алгоритм)

З даних, наведених на рис. 4.3. (ПУ/ПА-6,6)/Льон (б) видно, що при додаванні вже 10 мас.% льону у нетканий матеріал показник фрактальної розмірності не змінюється. Для нетканих матеріалів, що вміщували 20-50 мас.% льону значення фрактальної розмірності нетканих матеріалів збільшується з 2,71 до 2,73. Але в цілому вміст 50 мас.% льону у вихідному зразку (ПУ/ПА-6,6), є найвищим показником фрактальної розмірності (2,73).

Встановлено, що додавання у вихідну ПУ/ПА-6,6 волокнисту суміш 10-50 мас.% волокон льону збільшує показник фрактальної розмірності матеріалів, тобто сприяє зменшенню однорідності їх структури.

На рис. 4.4. наведено результат розрахунку фрактальної розмірності «*box-counting*» методом при аналізі зображень поверхні нетканих матеріалів (ПУ/ПА-6,6)/Льон з різним вмістом льону, отриманих голкопробивним способом.

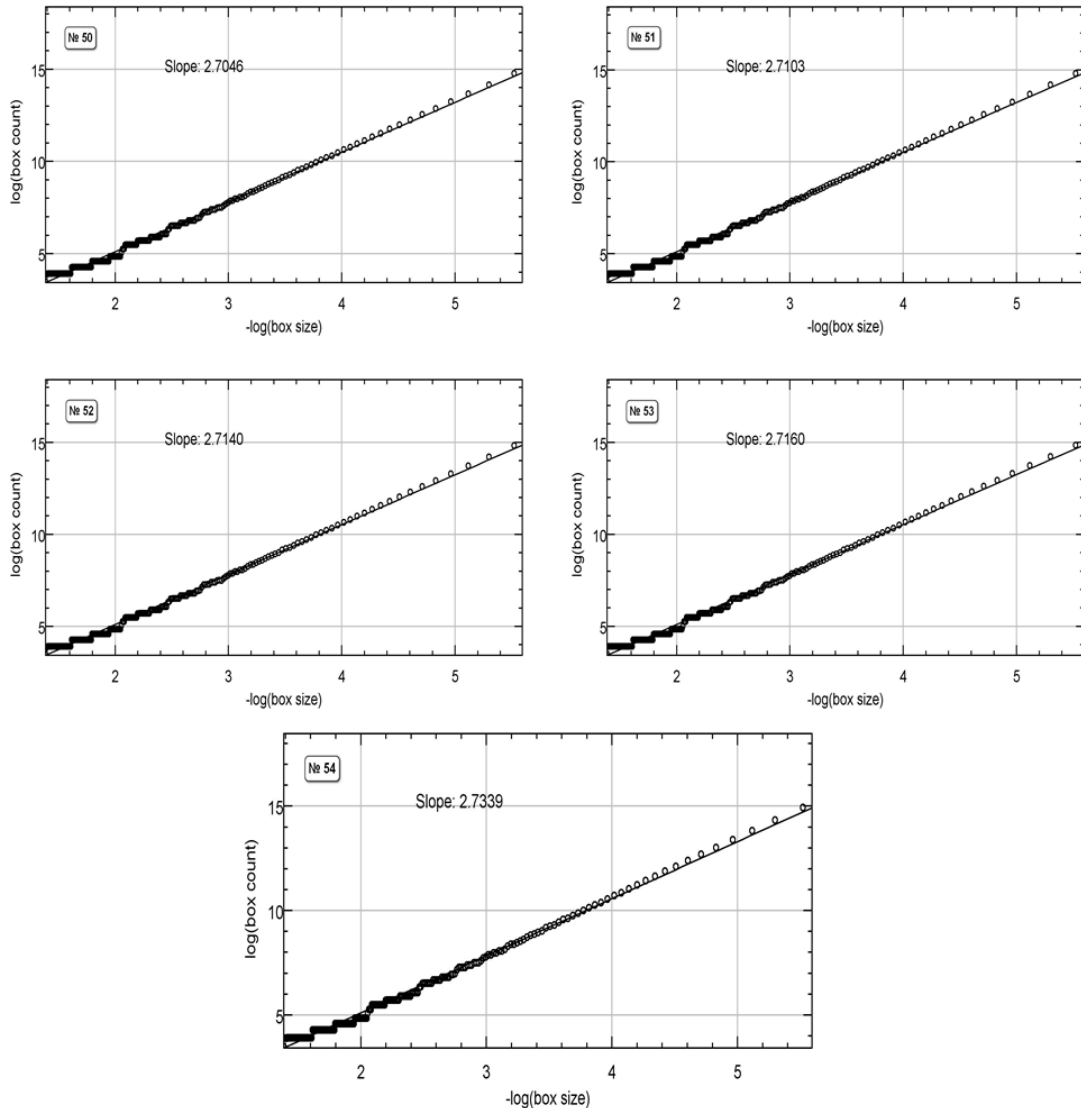


Рис 4.4. Приклад розрахунку фрактальної розмірності при аналізі зображень поверхні нетканих матеріалів (ПУ/ПА-6,6)/Льон з різним вмістом льону, отриманих голкопробивним способом

Різниця показників фрактальної розмірності у зразків, що вміщують волокна льону, пов'язана з особливістю розподілу природних волокон в синтетичній волокнистій масі та з різними відмінностями оптичних властивостей для волокон льону в порівнянні із синтетичними волокнами, що видно на фотографії зразків.

#### 4.2. Фізико-механічні характеристики нетканих матеріалів різного складу

Після проведеної математичної обробки, здійснено розрахунок відносної міцності та розривного видовження зразків нетканих матеріалів. Характеристика зразків (ПУ/ПА-6,6)/ПЕТФ та (ПУ/ПА-6,6)/Льон (питома поверхнева густина, абсолютна міцність, початкова та кінцева довжина зразку, відносна міцність, розривне видовження) представлена в табл. 4.1. та табл. 4.2. в залежності від кількості додаткового компонента.

Таблиця 4.1.

Значення відносної міцності та розривного видовження залежно від вмісту додаткового компонента (ПУ/ПА-6,6)/ПЕТФ

№	Волокнистий склад матеріалу, г	Поверхнева щільність, г/м <sup>2</sup>	Абс. міцність, Н/5 см	Абс. міцність, Н/м	Відн. міцність, Н·м/г	Розривне видовження, %
37	ПУ/ПА-6,6 (100)	227	23,4	468,0	2,1	60
44	(ПУ/ПА-6,6)/ПЕТФ (90/10)	233	48,1	961,0	4,1	62
43	(ПУ/ПА-6,6)/ПЕТФ (80/20)	276	208,1	4161,5	15,1	64
42	(ПУ/ПА-6,6)/ПЕТФ (70/30)	307	276,3	5526,5	18,0	65
41	(ПУ/ПА-6,6)/ПЕТФ (60/40)	311	513,8	10275,0	33,1	71
40	(ПУ/ПА-6,6)/ПЕТФ (50/50)	329	419,9	8397,5	25,5	89

Таблиця 4.2.

Значення відносної міцності та розривного видовження залежно від вмісту додаткового компонента (ПУ/ПА-6,6)/Льон

№	Волокнистий склад матеріалу, г	Поверхнева щільність, г/м <sup>2</sup>	Абс. міцність, Н/5 см	Абс. міцність, Н/м	Відн. міцність, Н·м/г	Розривне видовження, %
37	ПУ/ПА-6,6 (100)	227	23,4	468,0	2,1	60
50	(ПУ/ПА-6,6)/Л (90/10)	221	28,0	560,0	2,5	50
51	(ПУ/ПА-6,6)/Л (80/20)	237	25,0	500,0	2,1	53
52	(ПУ/ПА-6,6)/Л (70/30)	202	13,8	276,5	1,4	49
53	(ПУ/ПА-6,6)/Л (60/40)	146	7,1	141,5	1,0	10
54	(ПУ/ПА-6,6)/Л (50/50)	165	15,7	313,0	1,9	9

За результатами експерименту побудована гістограма, яка представлена на рис. 4.5. де наведена залежність відносної міцності та розривного видовження нетканого матеріалу від вмісту додаткового компонента (ПУ/ПА-6,6)/ПЕТФ(а), та (ПУ/ПА-6,6)/Л (б).

На рис. 4.5. (ПУ/ПА-6,6)/ПЕТФ (а) видно, що відносна міцність при додаванні 10 мас.% ПЕТФ зростає на 2 Н·м/г в порівнянні з початковим зразком ПУ/ПА-6,6, а розривне видовження збільшується на 2%. Можемо спостерігати, що при додаванні 20-30 мас.% ПЕТФ міцність зразку зростає до 11-13,9 Н·м/г, а розривне видовження збільшується на 2-3% порівнюючи із зразком 10 мас.% ПЕТФ.

Якщо порівнювати зразок 20-30 мас.% ПЕТФ із вихідною сировиною (ПУ/ПА-6,6) відносна міцність зростає на 13-15,9 Н·м/г, а розривне видовження збільшується 4-5%.

При додаванні 40 мас.% ПЕТФ, значення відносної міцності значно зростає на 31 Н·м/г, а розривне видовження збільшується на 11% відносно чистого зразку (ПУ/ПА-6,6). Відмінністю зразків з вмістом 50 мас.% ПЕТФ порівняно з 40 мас.%, є зниження відносної міцності на 7,6Н·м/г. При цьому, розривне видовження збільшується на 18%.

Порівнюючи з початковим зразком, відносна міцність зростає на 23,4Н·м/г, а розривне видовження збільшується на 29%.

На рис. 4.5. (ПУ/ПА-6,6)/Льон (б) видно, що відносна міцність при додаванні 10 мас.% льону зростає на 0,4 Н·м/г в порівнянні з початковим зразком (ПУ/ПА-6,6), а розривне видовження зменшується на 10%. Можемо спостерігати, що при додаванні 20 мас.% льону відносна міцність зразку не змінюється, а розривне видовження зменшується на 7% , якщо порівнювати із вихідною сировиною (ПУ/ПА-6,6).

Додаючи 30 мас.% волокон льону значення відносної міцності зменшується на 0,7-1,1 Н·м/г, а розривне видовження зменшується на 11% відносно чистого зразку (ПУ/ПА-6,6).

Відмінність у значеннях відносної міцності зразків, що вміщують 40-50 мас.% волокон льону порівняно з початковим зразком (ПУ/ПА-6,6) знижується на 0,2-1,1 Н·м/г, а розривне видовження – зменшується на 50-51%.



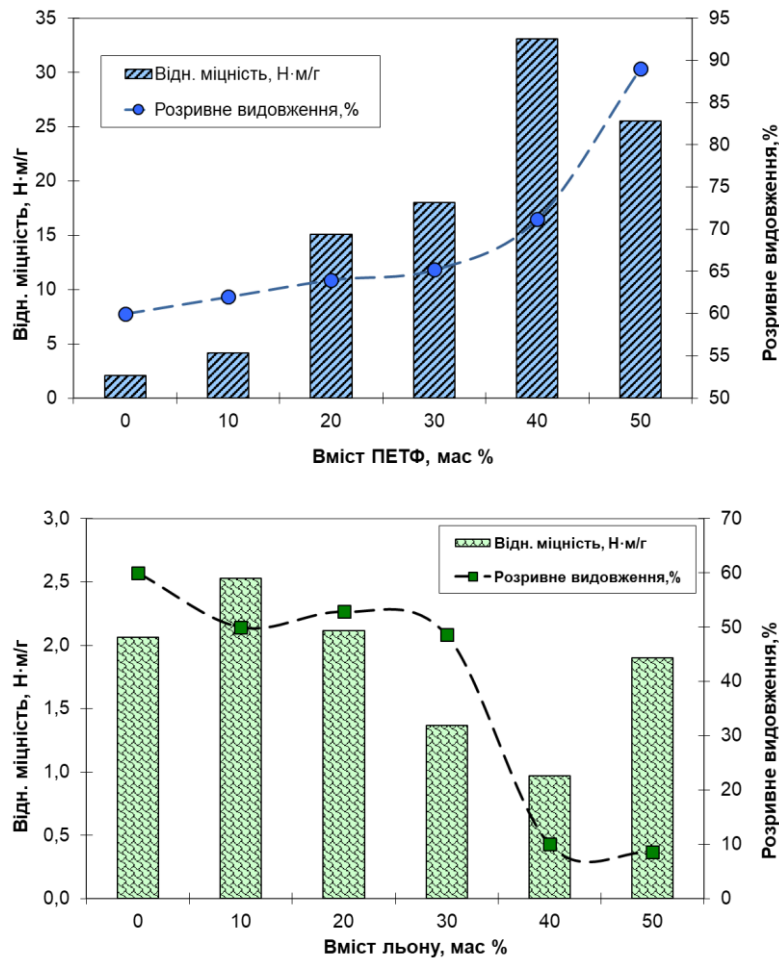


Рис.4.5. Залежність відносної міцності, Н·м/г та розривного видовження, %, нетканого матеріалу від вмісту додаткового компонента (ПУ/ПА-6,6)/ПЕТФ(а), та (ПУ/ПА-6,6)/Льон (б)

Додавання волокон льону у вихідну суміш (ПУ/ПА-6,6) з точки зору забезпечення зростання відносної міцності нетканого матеріалу є менш ефективним порівняно з волокнами ПЕТФ у якості додаткового компонента.

### 4.3. Визначення релаксаційних характеристик нетканих матеріалів при розтягуванні

Розрахунок відносних складових деформації нетканих матеріалів, заснований на вимірюванні зміни розмірних характеристик в циклі навантаження-розвантаження, здійснювали за формулами, наведеними в розділі 2.2.3.

Відносні складові деформації залежать від кількості ПЕТФ у нетканому матеріалі. При додаванні від 10 до 50 мас.% ПЕТФ вздовж напрямку прочісування у вихідний волокнистий матеріал, відносні складові деформації зменшуються у 9 разів. На рис. 4.6. представлені залежності відносних складових деформацій від вмісту додаткового компоненту ПЕТФ вздовж напрямку прочісування (зверху).

Залежності відносних складових деформацій від вмісту додаткового компоненту ПЕТФ вздовж напрямку прочісування можна побачити, що при додаванні 10 мас.% ПЕТФ у нетканий матеріал (ПУ/ПА-6,6) відносні складові деформації зменшуються у 1,8 разів. При збільшенні вмісту ПЕТФ до 20 мас.% відносні складові деформації у зразку зменшуються у 7,2 рази. Відносні складові деформації нетканих матеріалів, що вміщували 30-40 мас.% ПЕТФ в порівнянні із вихідною сировиною (ПУ/ПА-6,6) зменшилися у 5-9 разів. У зразка з вмістом 50 мас.% волокон ПЕТФ порівняно з початковим (ПУ/ПА-6,6) спостерігалось зменшення відносної складової деформації в 2,7 рази.

При додаванні 10 мас.% ПЕТФ в нетканий волокнистий матеріал повздовжнього напрямку прочісування (зверху) пластична деформація зменшується в 1,7 рази в порівнянні із вихідною сировиною (ПУ/ПА-6,6). При збільшенні вмісту ПЕТФ з 20 до 40 мас.%, пластична деформація у зразків зменшувалась у 8 разів відносно чистого зразку (ПУ/ПА-6,6). Значне зменшення (~16 разів) пластичної деформації щодо початкового зразку помітне при додаванні 30% ПЕТФ у нетканий матеріал. Вміст 50 мас.% ПЕТФ порівняно з вихідною сировиною (ПУ/ПА-6,6) зменшує пластичну деформацію у 5,3 рази.

У зразку (ПУ/ПА-6,6)/ПЕТФ, 90/10) повздовжнього напрямку прочісування еластична деформація зменшується в 2 рази в порівнянні із вихідною сировиною (ПУ/ПА-6,6). При додаванні ПЕТФ 20-40 мас.% у нетканий волокнистий матеріал еластична деформація зменшується у 6 разів відносно чистого зразку (ПУ/ПА-6,6).

На рис. 4.6. представлені залежності відносних складових деформацій від вмісту додаткового компоненту ПЕТФ перпендикулярного напрямку прочісування (знизу). Спостерігається зміна відносної складової деформації в залежності від кількості ПЕТФ у нетканому матеріалі.

При додавання від 10 до 50 мас.% ПЕТФ у вихідний волокнистий матеріал відносна складова деформація зменшується в 9,3 рази.

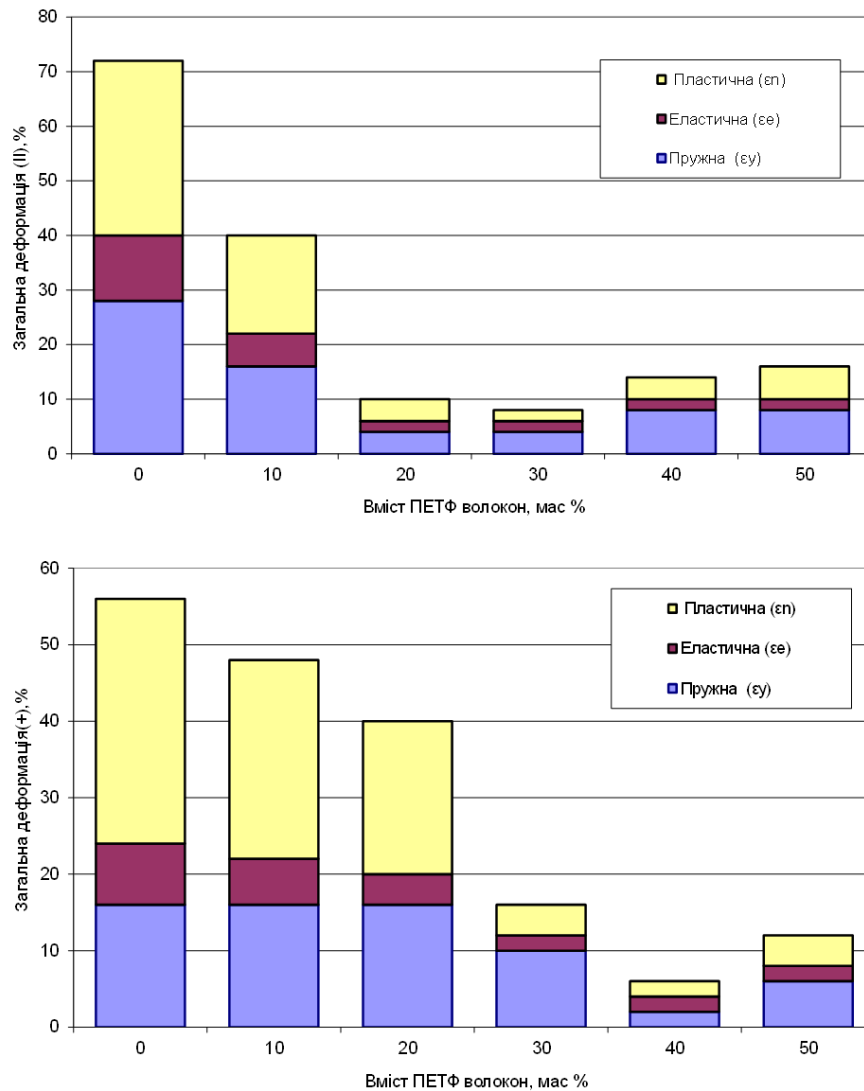


Рис. 4.6. Залежність складових деформації нетканого матеріалу від вмісту додаткового компонента (ПУ/ПА-6,6)/ПЕТФ в повздовжньому напрямку прочісування (зверху), (ПУ/ПА-6,6)/ПЕТФ перпендикулярно напрямку прочісування (знизу)

Після додавання у зразок (ПУ/ПА-6,6) 10% ПЕТФ пружна деформація зменшується у 1,7 рази. Вміст 20-30 мас.% ПЕТФ порівняно з вихідною сировиною (ПУ/ПА-6,6) зменшує пружну деформацію у 7 разів. При додаванні 40-50 мас.% ПЕТФ пружна деформація зменшується у 3,5 разів відносно до нетканого волокнистого матеріалу (ПУ/ПА-6,6).

У перпендикулярному напрямку прочісування спостерігається, що при додаванні 10 мас.% ПЕТФ у нетканый матеріал (ПУ/ПА-6,6) відносні складові деформації зменшуються в 1,2 рази. При збільшенні вмісту ПЕТФ до 20 мас.% відносні складові деформації у зразку зменшуються у 1,4 рази. Відносні складові деформації нетканых матеріалів, що вміщували 30-40 мас.% ПЕТФ в порівнянні із вихідною сировиною (ПУ/ПА-6,6) зменшилися в 3,5-9,3 рази. При додаванні 50% волокон ПЕТФ показники відносної складової деформації зменшуються у 4,6 рази у порівнянні з початковим зразком (ПУ/ПА-6,6).

При додаванні 10-20 мас.% ПЕТФ в нетканый волокнистий матеріал у перпендикулярному напрямку прочісування пластична деформація зменшується в 1,2-1,6 рази в порівнянні із вихідною сировиною (ПУ/ПА-6,6). При збільшенні вмісту ПЕТФ з 30 до 50 мас.% пластична деформація у зразку зменшується у 8 разів відносно чистого зразку (ПУ/ПА-6,6). Значне зменшення пластичної деформації (~ в 16 разів щодо початкового зразку) помітне при додаванні 40 мас.% ПЕТФ у нетканый матеріал.

У зразку (ПУ/ПА-6,6)/ПЕТФ (90/10) у перпендикулярному напрямку прочісування еластична деформація зменшується в 1,3 рази в порівнянні із вихідною сировиною (ПУ/ПА-6,6). При збільшенні вмісту ПЕТФ до 20% еластична деформація у зразку зменшується у 2 рази. При додаванні ПЕТФ 30-50 мас.% у нетканый волокнистий матеріал еластична деформація зменшується у 4 рази відносно чистого зразку (ПУ/ПА-6,6).

Після додавання 10-20 мас.% ПЕТФ у зразок (ПУ/ПА-6,6) пружна деформація не змінюється. Вміст 30 та 50 мас.% ПЕТФ порівняно з вихідною сировиною (ПУ/ПА-6,6) зменшує пружну деформацію у 1,6 та 2,6 рази. При додаванні 40 мас.% ПЕТФ пружна деформація зменшується у 8 разів відносно нетканого волокнистого матеріалу (ПУ/ПА-6,6).

Встановлено, що введення у вихідну волокнисту суміш ПУ/ПА-6,6 від 10 до 50 мас.% волокон ПЕТФ призводить до суттєвого (~ до 9,3 разів) зменшення загальної та відносної складових деформацій незалежно від напрямку прочісування.

Встановлено, що додавання 20 мас.% волокон ПЕТФ, як додаткового компоненту, дозволяє регулювати еластичні властивості матеріалу в широких межах. Збільшення кількості ПЕТФ волокон у матеріалі суттєво впливає на всі значення відносних складових деформацій.

На рис. 4.7. представлені залежності відносних складових деформацій від вмісту додаткового компоненту льону вздовж напрямку прочісування (зверху). Показник відносні складові деформації залежить від кількості льону у нетканому матеріалі. При додавання 10-50 мас.% льону вздовж напрямку прочісування у вихідний волокнистий матеріал відносні складові деформації зменшилися у 2,6 рази.

З даних на діаграмі залежності відносних складових деформацій від вмісту додаткового компоненту льону вздовж напрямку прочісування спостерігається, що при додаванні 10 мас.% льону у нетканый матеріал (ПУ/ПА-6,6) відносні складові деформації зменшуються у 2 рази. При збільшенні вмісту льону до 20% відносні складові деформації у зразку зменшуються у 2,4 рази. Відносні складові деформації нетканых матеріалів, що вміщували 30 і 50 мас.% льону в порівнянні із вихідною сировиною (ПУ/ПА-6,6) зменшилися у 2,2 рази. Відмінність зразку вмісту 40 мас.% льону порівняно з початковим (ПУ/ПА-6,6) зменшується у 2,6 рази.

При додаванні 10 і 50 мас.% льону вздовж напрямку прочісування в нетканый волокнистий матеріал пластична деформація зменшується в 2,3 рази в порівнянні із вихідною сировиною (ПУ/ПА-6,6). Зменшення пластичної деформації (~ в 3,2 рази щодо початкового зразку) помітне при додаванні 20 мас.% льону у нетканый матеріал. При збільшенні вмісту льону з 30 до 40 мас.% пластична деформація у зразках зменшується в 2,6 рази відносно чистого зразку (ПУ/ПА-6,6).

У зразках (ПУ/ПА-6,6)/Льон, 90/10), (ПУ/ПА-6,6)/ПЕТФ, 70/30), (ПУ/ПА-6,6)/Льон, 50/50) повздовжнього напрямку прочісування еластична деформація зменшується в 2 рази в порівнянні із вихідною сировиною (ПУ/ПА-6,6). При додаванні льону 20 та 40 мас.% у нетканый волокнистий матеріал еластична деформація зменшується у 3 рази відносно чистого зразку (ПУ/ПА-6,6).

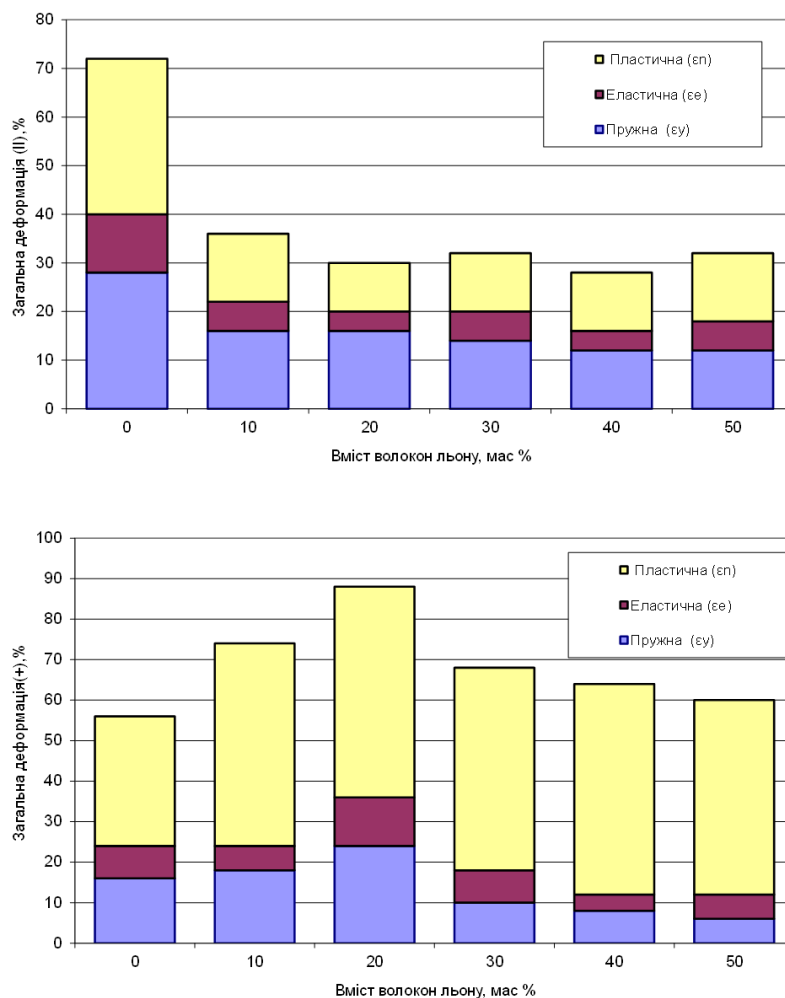


Рис. 4.7. Залежність складових деформацій від вмісту додаткового компонента для нетканого матеріалу (ПУ/ПА-6,6)/Льон в повздовжньому напрямку прочісування (зверху), (ПУ/ПА-6,6)/Льон перпендикулярно напрямку прочісування (знизу)

У зразках, що вміщували 10-20 мас.% волокон льону, спостерігалось зменшення пружної деформації в повздовжньому напрямку прочісування в 1,7 рази. Вміст 30 мас.% льону порівняно з вихідною сировиною (ПУ/ПА-6,6) зменшує пружну деформацію у 2 рази. При додаванні 40-50 мас.% льону пружна деформація зменшується у 2,3 разів відносно нетканого волокнистого матеріалу (ПУ/ПА-6,6).

На рис 4.8. наведені нормовані діаграми відносних складових деформації нетканого матеріалу при різній кількості додаткового компонента (ПУ/ПА-6,6)/ПЕТФ (а) та (ПУ/ПА-6,6)/ Льон (б) в повздовжньому напрямку прочісування.

При додаванні 10-50 мас.% льону перпендикулярного напрямку прочісування у вихідний волокнистий матеріал відносні складові деформації збільшилися до 1,6 разів.

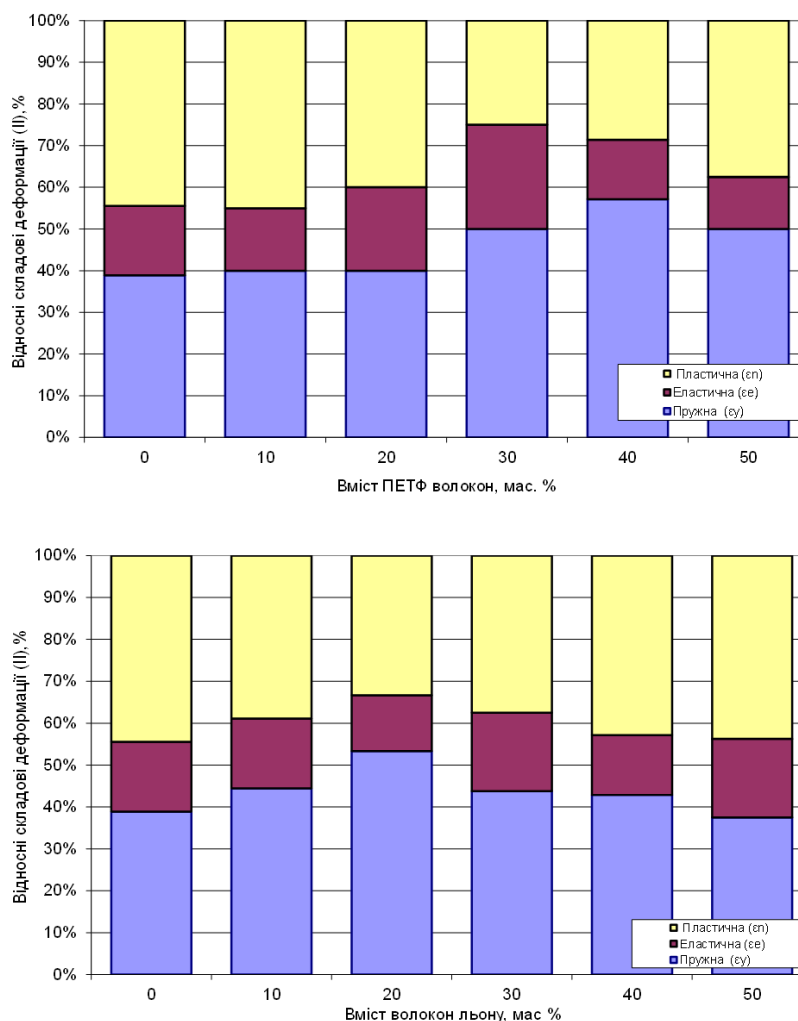


Рис. 4.8. Нормовані діаграми відносних складових деформації нетканого матеріалу при різній кількості додаткового компонента (ПУ/ПА-6,6)/ПЕТФ (а) та (ПУ/ПА-6,6)/ Льон (б) в повздовжньому напрямку прочісування

З даних на діаграмі залежності складових деформацій від вмісту додаткового компонента льону перпендикулярного напрямку прочісування видно, що при додаванні 10 та 30 мас.% льону у нетканий матеріал (ПУ/ПА-6,6) відносні складові деформації збільшуються у 1,1-1,3 рази. При збільшенні вмісту льону до 20 мас.% відносні складові деформації у зразку збільшуються у 1,6 разів. Складові деформації нетканих матеріалів, що вміщували 40-50 мас.% льону в порівнянні із вихідною

сировиною (ПУ/ПА-6,6) збільшуються на 10%. При додаванні 10-40 мас.% льону перпендикулярно напрямку прочісування у нетканий матеріал (ПУ/ПА-6,6) пластична деформація збільшуються в 1,6 рази. Спостерігається збільшення відносної складової деформації в 1,5 рази при додаванні 50 мас.% льону порівняно з вихідним зразком (ПУ/ПА-6,6). Додавання до 40 мас.% волокон льону, як додаткового компонента, зменшує показник відносної складової деформації майже не змінюється у порівнянні з вихідним зразком (ПУ/ПА-6,6).

У зразках, що вміщували 10 мас.% волокон льону та 50 мас.% волокон ПЕТФ еластична деформація зменшувалась в 1,3 рази порівняно із вихідною сировиною (ПУ/ПА-6,6) у перпендикулярному напрямку прочісування. При додаванні льону 20 мас.% у нетканий волокнистий матеріал еластична деформація збільшується у 1,5 рази відносно чистого зразку (ПУ/ПА-6,6). За вмісту 30 мас.% льону, еластична деформація порівняно з початковим зразком не змінюється. При збільшенні вмісту льону до 40% еластична деформація у зразку (ПУ/ПА-6,6) зростає у 2 рази. При додаванні у вихідний зразок (ПУ/ПА-6,6) 10-20 мас.% волокон льону у перпендикулярному напрямку прочісування пружна деформація збільшується у 1,2-1,5 разів. Вміст 30-50 мас.% льону порівняно з вихідною сировиною (ПУ/ПА-6,6) зменшує пружну деформацію від 1,6 до 2,6 разів.

Встановлено, що у повздовжньому напрямку прочісування при додаванні у вихідну ПУ/ПА-6,6 волокнисту суміш 10-50 мас.% волокон льону відносні складові деформації зменшилися в 2,6 рази, а в перпендикулярному напрямку прочісування спостерігалось збільшення показників відносної складової деформації в 1,6 рази.

Введення у вихідну суміш до 30 мас.% ПЕТФ, забезпечує підвищення еластичної складової деформації, а також суми пружної та еластичної деформації при зменшенні (рис. 4.6.) загальної деформації зразка.

Введення у вихідну суміш до 20 мас.% льону забезпечує зниження пластичної деформації за рахунок підвищення суми пружної та еластичної її частини при зменшенні (рис. 4.7.) загальної деформації зразка.

Зміна волокнистого складу досліджених зразків дозволяє регулювати релаксаційні властивості матеріалів. При цьому, введення у вихідну суміш волокон



ПЕТФ, забезпечує підвищення еластичної складової деформації, а випадку льону - суми пружної та еластичної її частини при зменшенні загальної деформації зразка. Таку різницю у релаксаційних властивостях матеріалів можна пояснити унікальною характеристикою природи синтетичних та природних волокон.

#### 4.4. Релаксаційні властивості нетканих матеріалів різного складу при стисканні

Для визначення еластичних властивостей нетканих матеріалів до дії механічного навантаження застосовували методику, засновану на вимірюванні товщини в умовах зростання навантаження на матеріал. Фізико-механічні характеристики визначали за стандартною методикою згідно ДСТУ 13648.1-78 [117].

Дослідження полягало у визначенні зміни товщини нетканого матеріалу під дією стискаючого зусилля. Навантаження на матеріал було спрямоване перпендикулярно і рівномірно розподілено по його площині. Залежності відносної деформації від напруження для нетканого волокнистого матеріалу, які отримані при випробуванні на стискання в двох послідовних циклах дискретного навантаження матеріалу та його розвантаження представлені на рис.4.9.

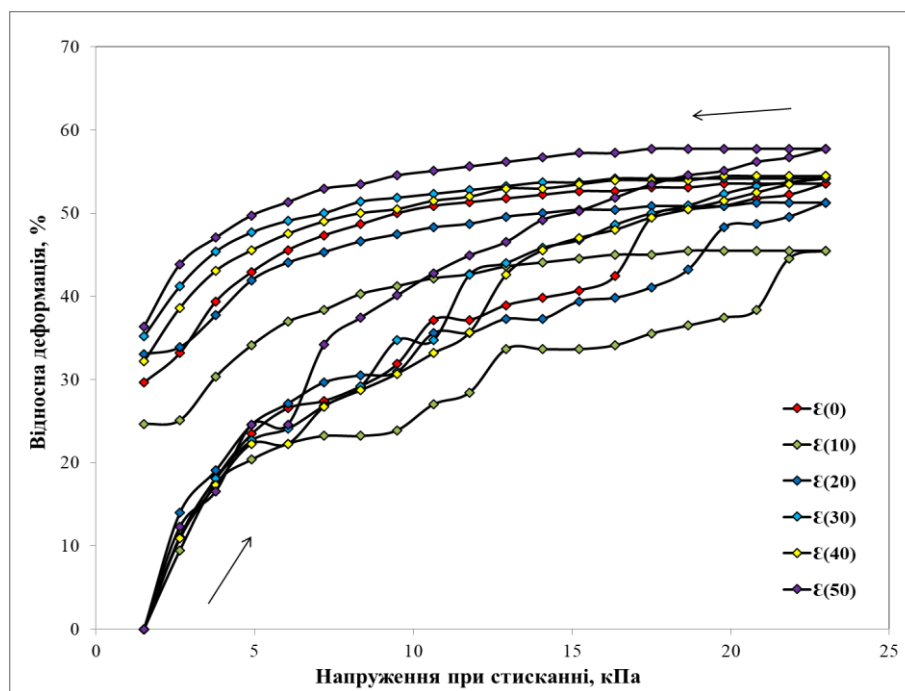


Рис. 4.9. Залежності деформації від напруження для нетканого волокнистого матеріалу складу (ПУ/ПА-6,6)/Л

Залежність відносної деформації від напруження при стисканні нетканого волокнистого матеріалу при його навантаженні відрізняється від аналогічної залежності при його розвантаженні. Це свідчить про наявність явища гістерезису при стисканні нетканого матеріалу, виготовленого з волокон ПУ/ПА-6,6. Пов'язано це з необоротною зміною структури матеріалу за рахунок зміни просторового розташування окремих волокон в його об'ємі за рахунок дії зовнішніх сил. При цьому, частина деформації є залишковою, та невідновлюється після повного розвантаження матеріалу.

Порівнюючи вихідний зразок ПУ/ПА-6,6 з серією зразків в яких містились волокна льону (ПУ/ПА-6,6)/Л у співвідношенні від 10 до 50 мас.%, спостерігається зростання залежності деформації від напруження.

Зразок ПУ/ПА-6,6 показує стрімке зростання напруження до 6,0 кПа. При значенні напруження стискання  $> 6,0$  кПа, відносна деформація зразка майже лінійно зростає, але меншими темпами до точки, що відповідає напруженню  $\sim 16,4$  кПа. В цій точці відбувається різке збільшення деформації з 42,5 до 49,5% при збільшенні навантаження до 17,5 кПа. Далі, відносна деформація продовжує слабко зростати (майже лінійно) при збільшенні навантаження до 21,8 кПа до свого максимального значення (53,5%). В циклі розвантаження, відносна деформація повільно зменшується від 53,5 до 50% , що відповідає значенню напруження при стисканні 9,5 кПа. При цьому значенні напруження, темпи зменшення деформації збільшуються. При початковому напруженні стискання (1,5 кПа), відносна деформація становить 29,6% від значення, що спостерігалось в циклі навантаження.

Зразки, з вмістом 10-20 мас.% волокон льону, в якості додаткового компоненту показують менші значення деформації порівнюючи з вихідним зразком. Їх максимальні показники при навантаженні становили 46,9 та 51,2%, а при розвантаженні деформація зменшувалася до 42,8 та 48,7%.

Зразки в яких волокон льону складало 40 та 50 мас.% виявили найбільші значення деформації при напруженні порівнюючи з вихідним зразком ПУ/ПА-6,6. Їх максимальні показники при навантаженні становили 56,7 та 61,6%, а при розвантаженні деформація зменшувалася до 43,3 та 44,9%.

Зразок, що вміщувався 30 мас.% волокон льону проявив найближчі значення до вихідного зразка ПУ/ПА-6,6. Показник навантаження склав 50,2%. В циклі розвантаження, відносна деформація поступово зменшувалась з 51,7 до 37,4%, що відповідає значенню напруження при стисканні 3,7 кПа. При початковому напруженні стискання (1,5 кПа), відносна деформація становить 31% від значення, що спостерігалось в циклі навантаження.

На рис. 4.10. представлені залежності деформації від напруження для нетканого матеріалу складу (ПУ/ПА-6,6)/ПЕТФ. На рис. 4.10. видно, що для нетканих волокнистих матеріалів складу (ПУ/ПА-6,6)/ПЕТФ з додаванням волокон поліетилентерефталату від 10 до 50 мас.% зростання відносної деформації зразків порівняно з вихідним матеріалом ПУ/ПА-6,6 значно менші.

На рисунку можна спостерігати зменшення відносного значення деформації зі збільшенням кількості доданих волокон ПЕТФ. Найкраще такий прояв видно, якщо порівняти вихідний матеріал зі зразками, в яких частка ПЕТФ волокон складала 30 та 40%. Їх максимальні показники при навантаженні становили тільки 38,3% та 36,4%, а при розвантаженні деформація зменшувалася до 26,8 та 24,1%.

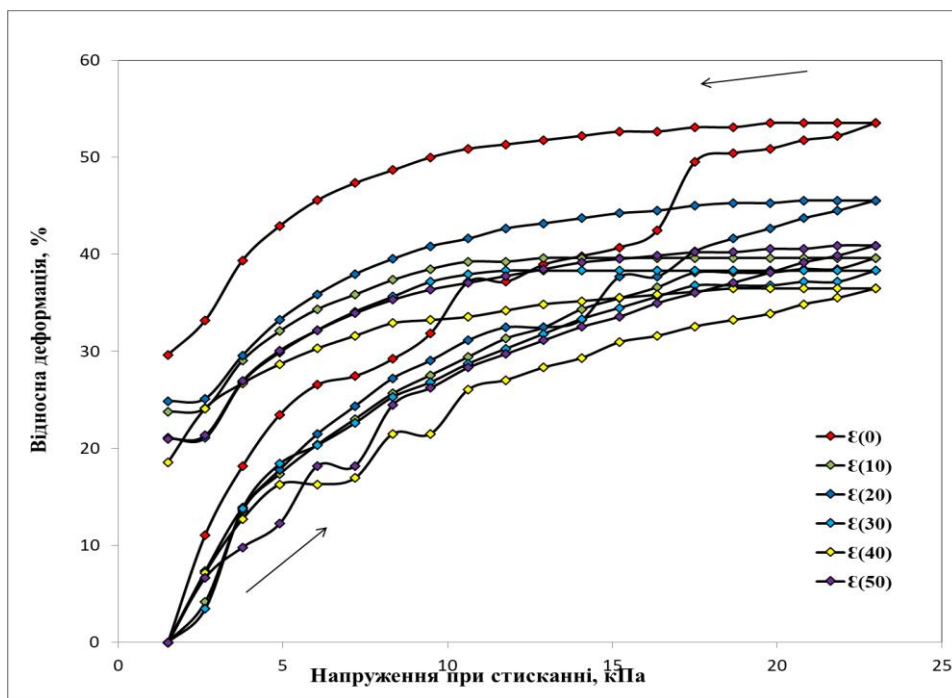


Рис. 4.10. Залежності деформації від напруження для нетканого волокнистого матеріалу складу (ПУ/ПА-6,6)/ПЕТФ

На рис. 4.11. та рис. 4.12. показані узагальнені дані досліджень поведінки матеріалу при стисканні в циклі навантаження-розвантаження від кількості додаткового компонента, що дозволяє розрахувати значення гістерезису.

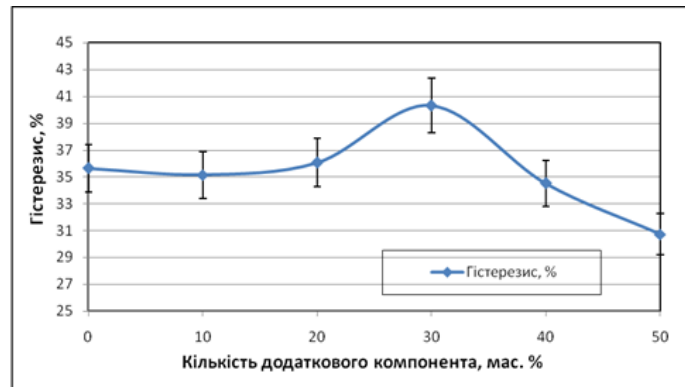


Рис. 4.11. Залежність гістерезису зразків нетканого матеріалу з волокон (ПУ/ПА-6,6)/Л

Гістерезис розраховують як різницю площі між кривою навантаження і кривою розвантаження. При цьому значення гістерезису може характеризувати здатність матеріалу до відновлення після деформації стиснення. Отримані результати свідчать, що додавання у вихідну сировину волокон льону змінює структуру матеріалу зменшуючи його еластичність (зворотню деформацію), що призводить до збільшення гістерезису зразків на 30%.

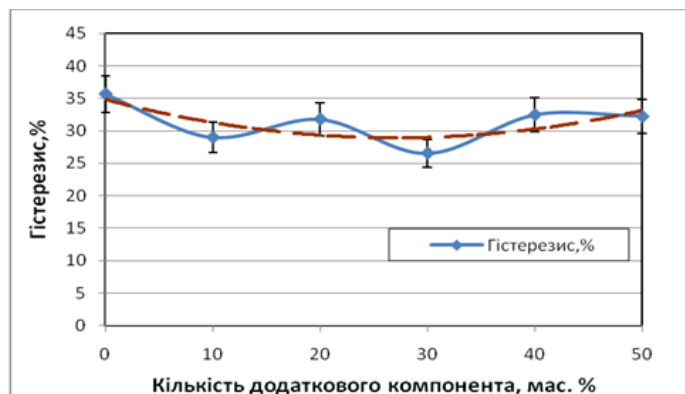


Рис. 4.12. Залежність гістерезису зразків нетканого матеріалу з волокон (ПУ/ПА-6,6)/ПЕТФ

При додаванні ПЕТФ картина зміни гістерезису дещо інша. Відбувається поступове зниження цього показника, але такі зміни менш помітні.

Виявлені кількісні деформаційні характеристики при стисканні в циклі навантаження-розвантаження для нетканих матеріалів на основі відходів комплексних волокон ПУ/ПА-6,6 з додаванням інших волокнистих компонентів (льон, ПЕТФ). Встановлено наявність для досліджених зразків явища гістерезису, та залежність цього показника від складу волокнистої суміші. Така залежність пов'язана зі зміною структури нетканого матеріалу за рахунок введення у вихідну суміш додаткових волокнистих компонентів, а отже дослідження підтверджує можливість регулювання еластичності готового продукту.

#### 4.5. Вплив складу нетканих матеріалів на показник водопоглинання

Водопоглинання – один з найважливіших показників при дослідженні матеріалів. Властивість матеріалу вбирати та утримувати в собі воду при безпосередньому контакті з нею для будівельної та текстильної промисловості головний критерій. Високий рівень водопоглинання призводить до зменшення міцності та погіршення теплоізоляційних властивостей.

На рис. 4.13. наведена залежність водопоглинання нетканого матеріалу від вмісту додаткового компонента (ПУ/ПА-6,6)/ПЕТФ(а), та (ПУ/ПА-6,6)/Льон (б).

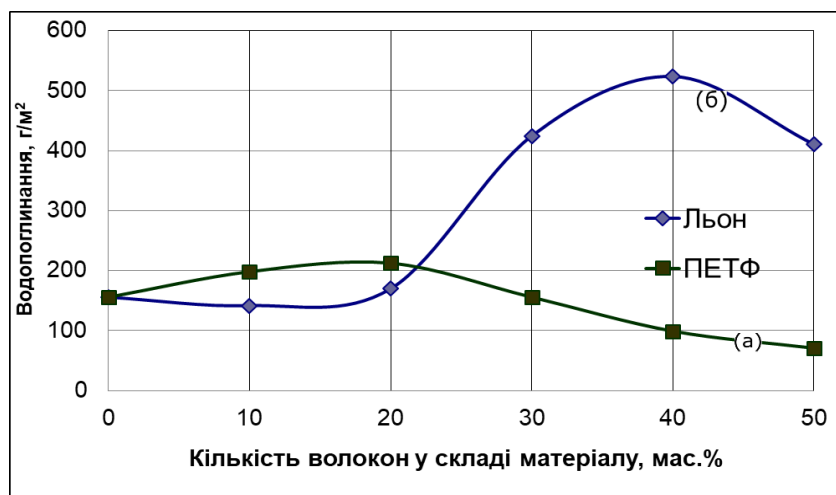


Рис.4.13. Залежність водопоглинання нетканого матеріалу від вмісту додаткового компонента (ПУ/ПА-6,6)/ПЕТФ(а), та (ПУ/ПА-6,6)/Льон (б)

З додаванням 10 мас.% ПЕТФ компоненту у вихідну суміш ПУ/ПА-6,6, водопоглинання нетканого волокнистого матеріалу зменшиться на 7,1%.

Збільшення кількості ПЕТФ у суміші до 50 мас.% призводить до майже лінійного збільшення водопоглинання з 7,1 до 79,3% ,тобто, в 11 разів.

Встановлено, що при додаванні у вихідну ПУ/ПА-6,6 волокнисту суміш 10 мас.% волокон ПЕТФ водопоглинання майже не зменшується, а при 20-50 мас.% збільшується в 2 рази. Видно, що найменший показник водопоглинання характерний для зразка (ПУ/ПА-6,6)/ПЕТФ, 90/10.

При додаванні 10 мас.% льону у нетканий волокнистий матеріал (ПУ/ПА-6,6), водопоглинання збільшується на 14,7% порівнюючи з вихідним зразком. Зі збільшенням кількості льону у суміші до 30 мас.% відбувається ріст показника водопоглинання з 0,3% до 6%, тобто, в 16 разів. При додаванні 40 мас.% волокон льону у початковому зразку (ПУ/ПА-6,6) водопоглинання збільшується до 33,1% , тобто на 42 рази.

Встановлено, що додавання у вихідну суміш до 20 мас.% як волокон ПЕТФ так і волокон льону не суттєво впливає на показник водопоглинання нетканих матеріалів на основі ПУ/ПА-6,6. При подальшому збільшенні кількості волокнистого компоненту відбувається різке збільшення значення водопоглинання для волокон льону та незначне зниження цього показника для волокон ПЕТФ, така різниця обумовлена природою волокон та неоднорідністю нетканого матеріалу. Отримані результати не суперечать даним авторів Lou C. та Hu J., що досліджували ступінь водопоглинання голкопробивних нетканих матеріалів [125].

#### **4.6. Дослідження показників паропроникності та вологопоглинання нетканих матеріалів різного складу**

Дослідження показників паропроникності та вологопоглинання матеріалу впливають на теплофізичні властивості нетканих матеріалів. Щільність матеріалу знижує показник паропроникності, а отже матеріал здатний акумулювати в собі тепло, не допускаючи надмірного паропроникнення і виходу тепла назовні.

На рис. 4.14. наведена залежність величини вологопоглинання серії зразків матеріалу ПУ/ПА-6,6 з додаванням компоненту льону у вихідну суміш.

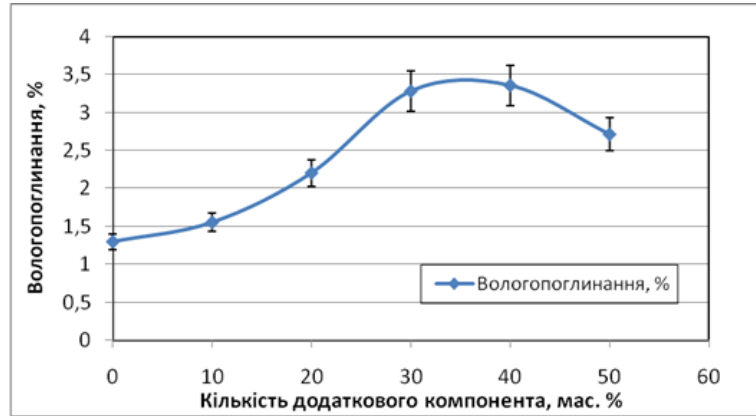
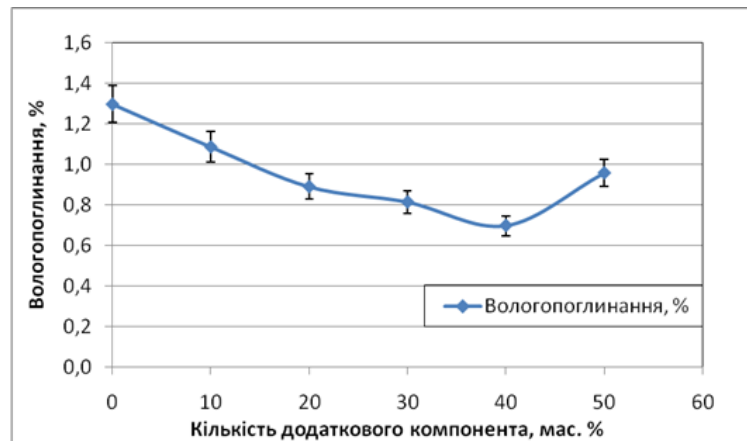


Рис. 4.14. Залежність вологопоглинання (%) зразків нетканого матеріалу на основі волокон ПУ/ПА-6,6 від кількості додаткового компонента (льону)

Спостерігається, що збільшення кількості льону у суміші до 40 мас.% призводить до майже лінійного збільшення вологопоглинання з 1,2 до 3,3%, тобто в 2,5 рази. При подальшому збільшенні вмісту льону до 50 мас.% вологопоглинання дещо зменшується, що може бути пов'язане з неоднорідністю матеріалу.

На рис. 4.15. наведена залежність вологопоглинання зразків нетканого матеріалу на основі волокон ПУ/ПА-6,6 від кількості додаткового компонента (ПЕТФ).



З рис 4.15. Залежність вологопоглинання (%) зразків нетканого матеріалу на основі волокон ПУ/ПА-6,6 від кількості додаткового компонента (ПЕТФ)

Спостерігається, що із збільшенням кількості ПЕТФ у суміші до 40 мас.% відбувається зменшення вологопоглинання з 1,3 до 0,7%, тобто, в 1,8 разів.

При подальшому збільшенні вмісту ПЕТФ до 50 мас.% вологопоглинання дещо збільшується, що може бути пов'язане з особливостями структуроутворення нетканого матеріалу.

Такий ефект зниження здатності поглинати матеріалом вологу пов'язаний з природою синтетичних волокон. Через свою фізику-механічну властивість (хімічну інертність) синтетичні волокна не змінюються під дією вологи [126].

На рис. 4.16. наведена залежність величини паропроникнення серії зразків матеріалу ПУ/ПА-6,6 з додаванням компоненту льону у вихідну суміш.

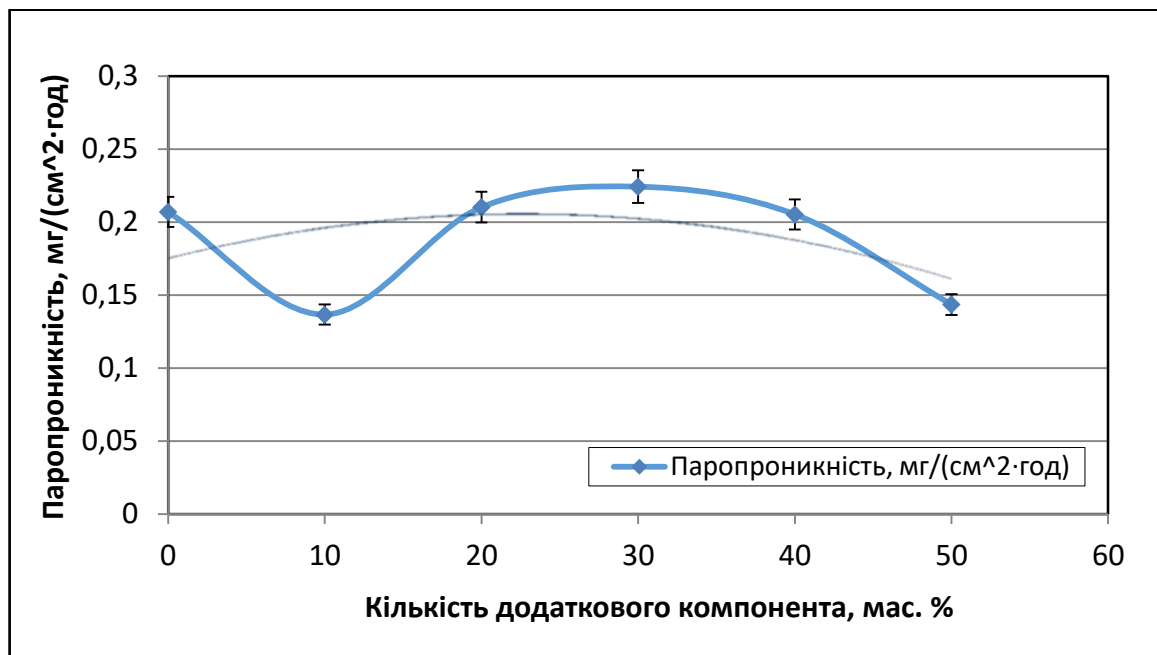


Рис. 4.16. Залежність паропроникності (мг/(см<sup>2</sup>·год) зразків нетканого матеріалу на основі волокон ПУ/ПА-6,6 від кількості додаткового компонента (льону)

Зміна величини паропроникності матеріалу з додаванням волокон льону носить складний характер та не дозволяє явним чином визначити вплив складу на цей показник.

На рис. 4.17. наведена залежність величини паропроникності серії зразків матеріалу ПУ/ПА-6,6 з додаванням компоненту ПЕТФ у вихідну суміш.

З рис 4.17 видно, що із збільшенням кількості ПЕТФ у суміші (ПУ/ПА-6,6) до 50 мас.% спостерігається поступове зменшення показника паропроникності. Такі значення можна характеризувати низьким показником гігроскопічності поліефірних волокон – 0,4% [127].



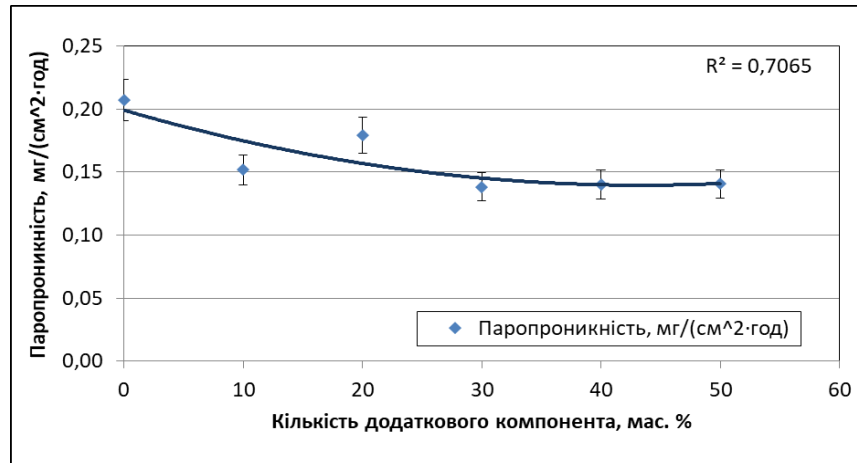


Рис 4.17. Залежність паропроникності (мг/(см<sup>2</sup>·год) зразків нетканого матеріалу на основі волокон ПУ/ПА-6,6 від кількості додаткового компонента (ПЕТФ)

Зміни властивостей нетканих матеріалів, на основі відходів (ПУ/ПА-6,6), таких як паропроникності та вологопоглинання, залежать не тільки від однорідності нетканого матеріалу, а й насамперед від природи волокон, що використовуються для отримання готового продукту.

#### 4.7. Теплофізичні характеристики нетканих матеріалів

Теплоізоляційні матеріали повинні мати низький коефіцієнт теплопровідності, невелику об'ємну масу, мати низьку гігроскопічність, достатню механічну міцність, допускати можливість обробки. Матеріали, що застосовуються для теплової ізоляції, повинні мати пористу будову, так як повітря в стані спокою має найнижчий коефіцієнт теплопровідності [128].

За результатами дослідження, після проведеної математичної обробки, здійснено розрахунок питомої ізобарної теплоємності. Характеристика зразків (маса, питома поверхнева густина) та значення теплоємності представлені в табл. 4.3.

Волокнистий склад матеріалу, наявність природних волокон безпосередньо впливає на теплоємність, так при додаванні до вихідної сировини (ПУ/ПА-6,6) в однаковому співвідношенні волокон поліетилентерефталату знижує теплоємність матеріалу в 1,8-2 рази в усьому діапазоні температур, тоді як при додаванні волокон конопель при 323 К підвищує теплоємність у 1,5 рази, а при 398 К – зменшує у 2 рази.

Таблиця 4.3.

## Значення питомої масової ізобарної теплоємності залежно від температури

Склад зразка	Поверхнева щільність $\rho$ , г/м <sup>2</sup>	Маса, кг	T, К	Питома масова ізобарна теплоємність, $C_p$ , Дж/(кг·К)
ПУ/ПА-6,6	226,67	$0,185 \cdot 10^{-3}$	323	5905,40
			348	6948,49
			373	7222,49
			398	8056,65
(ПУ/ПА-6,6)/ПЕТФ	329,33	$0,300 \cdot 10^{-3}$	323	3008,33
			348	3332,70
			373	3817,60
			398	4006,67
(ПУ/ПА-6,6)/Л	164,67	$0,185 \cdot 10^{-3}$	323	5648,65
			348	5404,38
			373	4127,15
			398	2339,03
(ПУ/ПА-6,6)/К	150,00	$0,175 \cdot 10^{-3}$	323	7057,14
			348	6257,31
			373	5181,03
			398	4121,14

Результати дослідження теплофізичних властивостей нетканних матеріалів різного складу представлені в табл. 4.4.

Таблиця 4.4.

## Теплофізичні властивості нетканних матеріалів\*

№ п/п	Склад нетканого матеріал	Поверхнева щільність, $\rho$ , г/м <sup>2</sup>	Товщина зразка, h, мм	Коефіцієнт теплопровідності, $\lambda$ , Вт/(м·К)	Питома масова ізобарна теплоємність, $C_p$ , Дж/(кг·К)
1	ПУ/ПА-6,6	226	1,5	0,157	2418,26
2	(ПУ/ПА6,6)/ПЕТФ, 50/50	329	2,5	0,258	2143,35
3	(ПУ/ПА6,6)/Л, 50/50	164	1,5	0,155	2083,15
4	(ПУ/ПА-6,6)/К, 50/50	150	1,5	0,149	2247,27
5	ПЕТФ	350	3,0	0,285	1403,03
6	ПЕТФ	250	2,0	0,194	1627,90

\*Випробування проводили при температурі 373К.

З наведених даних видно, що коефіцієнт теплопровідності для вихідної суміші (зразок №1) склав 0,157 Вт/(м·К). При додаванні 50 мас.% волокон ПЕТФ показник  $\lambda$  збільшився до 0,258 Вт/(м·К), що свідчить про погіршення теплоізолюючих властивостей матеріалу у 1,6 рази.

Введення у вихідну суміш до 50 мас.% природних волокон як льону так і конопель не чинить суттєвого впливу на коефіцієнт теплопровідності нетканого матеріалу (0,155 та 0,149 Вт/(м·К) відповідно). Зразок №5, з поверхневою щільністю 350 г/м<sup>2</sup>, демонструє найвище значення коефіцієнта теплопровідності (0,285 Вт/(м·К)). Близькі результати спостерігалися і для зразка №2 (0,258 Вт/(м·К)).

Зразки №1, №3, №4 мають меншу поверхневу щільність (у 2,3 рази) порівняно з іншими нетканими матеріалами. В той же час для них спостерігається майже однакові значення коефіцієнта теплопровідності, що майже у 2 рази нижчі, ніж для зразка №5.

На рис. 4.27. представлені порівняльні значення коефіцієнта теплопровідності для зразків нетканих матеріалів різного складу.

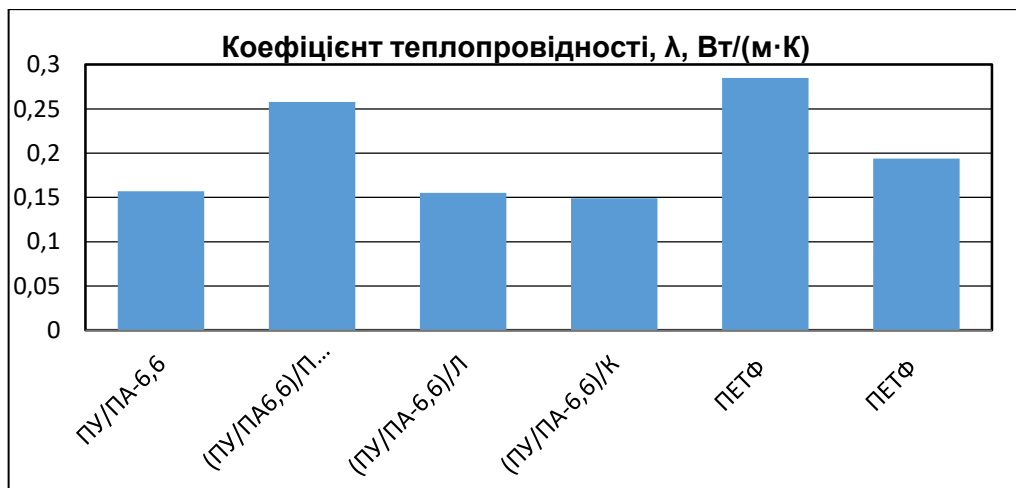


Рис.4.27. Співставлення коефіцієнтів теплопровідності зразків нетканих матеріалів різного складу

Максимальне значення коефіцієнта теплопровідності спостерігається для зразків №5 та №2, а мінімальне для зразка №1 з вихідної суміші, а також для композицій, що вміщують природні волокна (№3, №4). Зразки нетканих матеріалів компанії K.tex №5 та №6 демонструють проміжні значення коефіцієнта теплопровідності [129].

На рис.4.28. наведена залежність коефіцієнта теплопровідності від поверхневої щільності для досліджених зразків нетканих матеріалів різного складу.

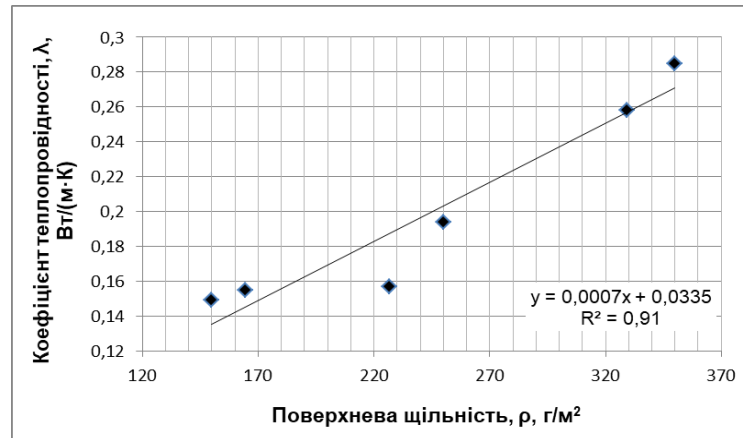


Рис.4.28. Кореляційна залежність коефіцієнта теплопровідності від поверхневої щільності для зразків нетканих матеріалів різного складу

Порівняльний аналіз значень коефіцієнта теплопровідності свідчить про те, що при збільшенні значення поверхневої щільності, коефіцієнт теплопровідності зростає. В той же час відсутній чіткий зв'язок між поверхневою щільністю та питомою масовою ізобарною теплоємністю досліджених зразків нетканих матеріалів.

Таким чином встановлено, що додавання до вихідного складу ПУ/ПА-6,6 волокон ПЕТФ погіршує теплзахисні властивості матеріалу. В той же час використання до 50 мас.% природних волокон льону та конопель дозволяє одержати нетканий матеріал із достатньо низьким коефіцієнтом теплопровідності та меншою поверхневою щільністю, що разом і низькою гігроскопічністю і достатньою міцністю забезпечує можливість використання цих матеріалів для теплоізоляції об'єктів складної геометричної форми

#### 4.8. Технологічні особливості одержання голкопробивних нетканих матеріалів на основі волокнистих відходів ПУ/ПА-6,6

Для отримання термоскріплених нетканих матеріалів на основі волокнистих відходів ПУ/ПА-6,6, необхідно:

- визначити особливості природи волокна;
- обрати раціональний склад;
- визначити технологічні параметри одержання нетканого матеріалу.

На рис.4.30. представлений технологічний процес одержання голкопробивних нетканих матеріалів.

Волокнисті відходи ПУ/ПА-6,6 попередньо подрібнювали на штапельній машині з роторними ножами. Довжина різки складала 30 мм. Далі, штапельовані волокна змішували з додатковими волокнистими компонентами в певних співвідношеннях. Для формування волокнистого полотна використовували чесальну машину марки ЧБВ. Робочі зазори між робочими органами чесальної машини складали 0,3-0,4 мм. Після попереднього прочісування, полотно знімали з приймального барабана (діаметр 200 мм). В залежності від складу і якості отриманого матеріалу, операцію прочісування повторювали 2-3 рази.

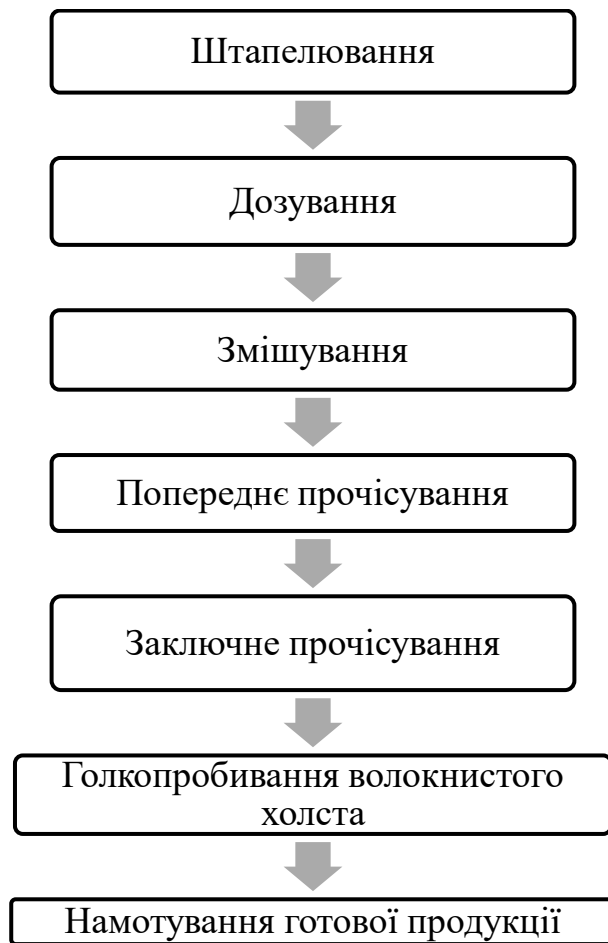


Рис. 4.30. Технологічний процес одержання голкопробивних нетканих матеріалів на основі комплексних ниток ПУ/ПА-6,6

Напрямок наступних операцій прочісування збігався з напрямком попереднього прочісування. Отримане полотно піддавали операції голкопробивання на машині ВП-1 [7]. Характеристика високоеластичних нетканих матеріалів одержаних на основі волокнистих відходів ПУ/ПА-6,6 представлена в таблиці 4.5.

## Характеристика високоеластичних нетканих матеріалів

Волокнистий склад матеріалу, г	ПУ/ПА-6,6 (100)	(ПУ/ПА-6,6)/ПЕТФ (50/50)	(ПУ/ПА-6,6)/Л (50/50)
Поверхнева щільність, г/м <sup>2</sup>	227	329	165
Розривне видовження, %	60	89	9
Коефіцієнт теплопровідності, $\lambda$ , Вт/(м·К). При температурі 373К	0,157	0,258	0,155
Питома масова ізобарна теплоємність, $C_p$ , Дж/(кг·К) При температурі 373К	$7,22 \cdot 10^3$	$3,81 \cdot 10^3$	$4,12 \cdot 10^3$
Вологопоглинання, %	1,2	1,0	2,7
Паропроникність, мг/(см <sup>2</sup> ·год)	0,20	0,14	0,14

Неткані матеріали на основі комбінованих ниток ПУ/ПА-6,6 та з додатковим компонентом ПЕТФ у складі, можна використовувати у якості підкладкового утеплюючого матеріалу в будівельній галузі. Неткані матеріали з природними волокнами льону у складі, пропонується використовувати у взуттєвій та текстильних галузях промисловості.

## Висновки до розділу 4.

1. Встановлено, що додавання у вихідну волокнисту суміш ПУ/ПА-6,6 волокон ПЕТФ зменшує значення фрактальної розмірності, а волокон льону збільшує показник фрактальної розмірності нетканих матеріалів.
2. Показано, що додавання у вихідну суміш волокон ПЕТФ дозволяє підвищити відносну міцність нетканих матеріалів (у 12-15 разів) в порівнянні з вихідним зразком (ПУ/ПА-6,6). Найбільшою міцністю (33,1 Н·м/г) характеризуються зразки (ПУ/ПА-6,6)/ПЕТФ складу 60/40 мас.%. Збільшення кількості волокон ПЕТФ до 50% призводить до нелінійного зростання розривного видовження нетканого матеріалу (з 60 до 89%).
3. Встановлено, що найбільшу міцність демонструють зразки, (ПУ/ПА-6,6)/Льон складу 90/10 мас.%, що забезпечує зростання відносної міцності на 10%. Додавання льону у вихідну суміш є менш ефективним з точки зору забезпечення зростання відносної міцності матеріалу.
4. Встановлено, що зміна волокнистого складу досліджених зразків дозволяє регулювати релаксаційні властивості матеріалу в широких межах. При цьому,

введення у вихідну суміш волокон ПЕТФ, забезпечує підвищення еластичної складової деформації, а випадку льону - суми пружної та еластичної її частини при зменшенні загальної деформації зразка.

5. Доведено, що додавання у вихідну суміш до 20% як волокон ПЕТФ так і льону несуттєво впливає на показник водопоглинання нетканих матеріалів на основі ПУ/ПА-6,6. При подальшому збільшенні кількості другого волокнистого компонента, відбувається різке збільшення значення водопоглинання у випадку льону та незначне зниження цього показника для волокон ПЕТФ.
6. Встановлені закономірності зміни деяких експлуатаційних властивостей нетканих матеріалів на основі відходів комплексних волокон складу ПУ/ПА-6,6 (паропроникність та вологопоглинання) при введенні різних типів (льон, ПЕТФ) та кількості додаткових волокнистих компонентів у вихідну суміш.
7. Виявлені кількісні деформаційні характеристики при стисканні в циклі навантаження-розвантаження для нетканих матеріалів на основі відходів комплексних волокон ПУ/ПА-6,6 з додаванням інших волокнистих компонентів (льон, ПЕТФ). Отримані результати свідчать, що додавання у вихідну сировину волокон льону змінює структуру матеріалу зменшуючи його еластичність (зворотню деформацію), що призводить до збільшення гістерезису зразків на 30%.
8. Встановлено, що використання до 50 мас.% природних волокон льону і конопель дозволяє одержати нетканий матеріал із достатньо низьким коефіцієнтом теплопровідності та меншою поверхневою щільністю, що разом із низькою гігроскопічністю і достатньою міцністю забезпечує можливість використання цих матеріалів для теплоізоляції об'єктів складної геометричної форми.

## РОЗДІЛ 5. ВЛАСТИВОСТІ ТЕРМОСКРІПЛЕНИХ НЕТКАНИХ МАТЕРІАЛІВ

### 5.1. Особливості одержання нетканних матеріалів методом термоскріплення

При розробці нових видів нетканних матеріалів потрібно вирішити декілька основних технологічних завдань:

- 1) визначити склад волокнистих матеріалів, який би задовольняв вимогам, що пред'являються до готової продукції;
- 2) визначити умови та методи переробки волокнистої маси у неткане полотно;
- 3) визначити умови та методи фіксації структури нетканних матеріалів з метою забезпечення потрібних фізико-механічних характеристик.

Існує декілька способів кінцевої обробки нетканних матеріалів для остаточного закріплення волокнистої структури. Серед них можна відмітити фізико-механічний, хімічний та інші способи, детально розглянуті в розд.1.

Одним із відомих методів фіксації структури нетканних матеріалів є попереднє введення у волокнисту масу так званих «клеювих» волокон. Перевагою цього методу є відносна простота реалізації та відсутність складних (наприклад, в порівнянні з голкопробиванням) фінальних операцій по обробці нетканних полотен. Як клейовий компонент, зазвичай, використовують два основні типи волокон:

- волокна з індивідуальних полімерів, які мають низьку температуру плавлення (наприклад ПЕ високого та низького тиску, низькоплавкі ПА, полієфіри, співполімери етилену з вінілацетатом, та ін.)
- бікомпонентні волокна, один із компонентів в яких є низькоплавкий полімер. Традиційною морфологією таких волокон є структура типу ядро-оболонка, де полімерна оболонка є низькоплавкою. Крім того застосовують волокна й інших структур типу бік-о-бік, сегментальна, а також матрично-фібрилярна.

Перевагами клейових волокон першої групи є відносна простота отримання, можливість використання стандартних машин для формування, невисока собівартість. Недоліком таких волокон є необхідність точного підбору температурних умов.



Перевагами волокон другої групи є більш широкий діапазон температурних умов при обробці, що дозволяє більш гнучко керувати процесом термоскріплення, відсутність повного руйнування волокон в процесі термообробки. Недоліком таких волокон є відносна складність процесу отримання, необхідність використання спеціального обладнання для формування, що позначається на їх високій собівартості. Крім того існує обмежений набір полімерних пар, що можуть бути застосовані для стабільного формування волокон подібної структури.

В даній роботі були досліджені як клейові компоненти обидва типи волокон. Вивчався вплив кількості клейових волокон, а також умови їх термообробки, що впливало на властивості нетканних матеріалів на основі еластичних волокнистих відходів ПУ/ПА-6,6.

На рис. 5.1. наведені результати досліджень зміни розмірів зразків нетканних матеріалів складу (ПУ/ПА-6,6)/ПЕВГ з різним вмістом клейових волокон в процесі термоскріплення під тиском та у вільному стані. З наведених даних видно, що різні способи термоскріплення зразків призводять до діаметрально протилежних змін їх початкових розмірів. Загалом можна відмітити, що при термоскріпленні під тиском, розмір зразка збільшується (від 2,4 до 9,5%), у вільному стані зменшується (від 16,7 до 15,9%).

З результатів також видно, що зразок, який не містить клейових волокон, демонструє найвищі значення зміни початкових розмірів зразка, як під тиском так і у вільному стані ( 9,5 та 16,7% відповідно). Збільшення кількості введених клейових волокон призводить до суттєвого зниження зміни розміру зразка при термообробці під тиском з 9,5 (ПУ/ПА-6,6) до 2,4% (25 мас.% ПЕВГ).

На відміну від першого випадку, зміна розміру зразка при термообробці у вільному стані практично не залежить від кількості клейових волокон. Такий результат можна пояснити тим, що в процесі термообробки відбувається плавлення та часткове руйнування монокомпонентних клейових волокон, що забезпечує усадку нетканого матеріалу на рівні з вихідним зразком (ПУ/ПА-6,6).

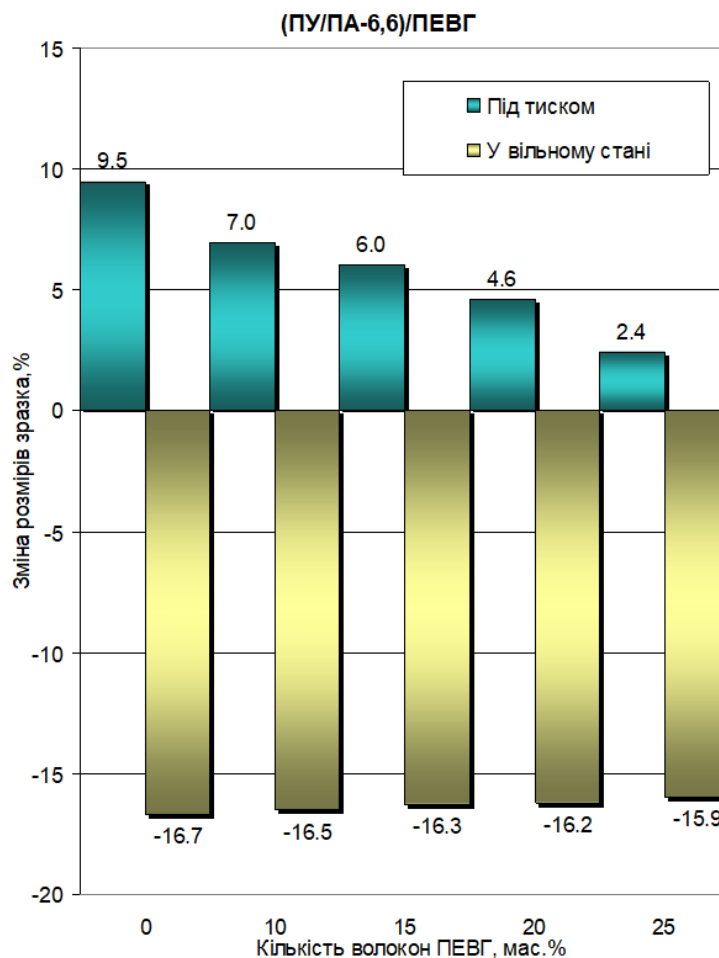


Рис 5.1. Зміна розмірів зразків нетканих матеріалів складу (ПУ/ПА-6,6)/ПЕВГ з різним вмістом клейових волокон в процесі термоскріплення під тиском та у вільному стані

На рис. 5.2. наведені закономірності зміни розмірів зразків нетканих матеріалів складу (ПУ/ПА-6,6)/(ПЕНГ/ПЕТФ) з різним вмістом бікомпонентних клейових волокон в процесі термоскріплення під тиском та у вільному стані.

Аналогічно першому випадку в процесі термообробки під тиском відбувається збільшення розмірів зразків, а у вільному стані зменшення. В той же час збільшення кількості бікомпонентних клейових волокон майже не впливає на зміну розміру зразка при термоскріпленні під тиском. Цей показник зменшується з 9,5% для вихідного зразка (ПУ/ПА-6,6), до 8,5% для зразка, що вміщує 25 мас.% волокон ПЕНГ/ПЕТФ. Для зразків, що були оброблені у вільному стані відбувається зменшення інтенсивності зміни розмірних характеристик від 16,7 до 10%.

Таке зниження розмірів зразків пов'язано зі структурною особливістю бікомпонентних клейових волокон та утворенням в процесі термічної обробки зв'язаної просторової сітки зчеплень.

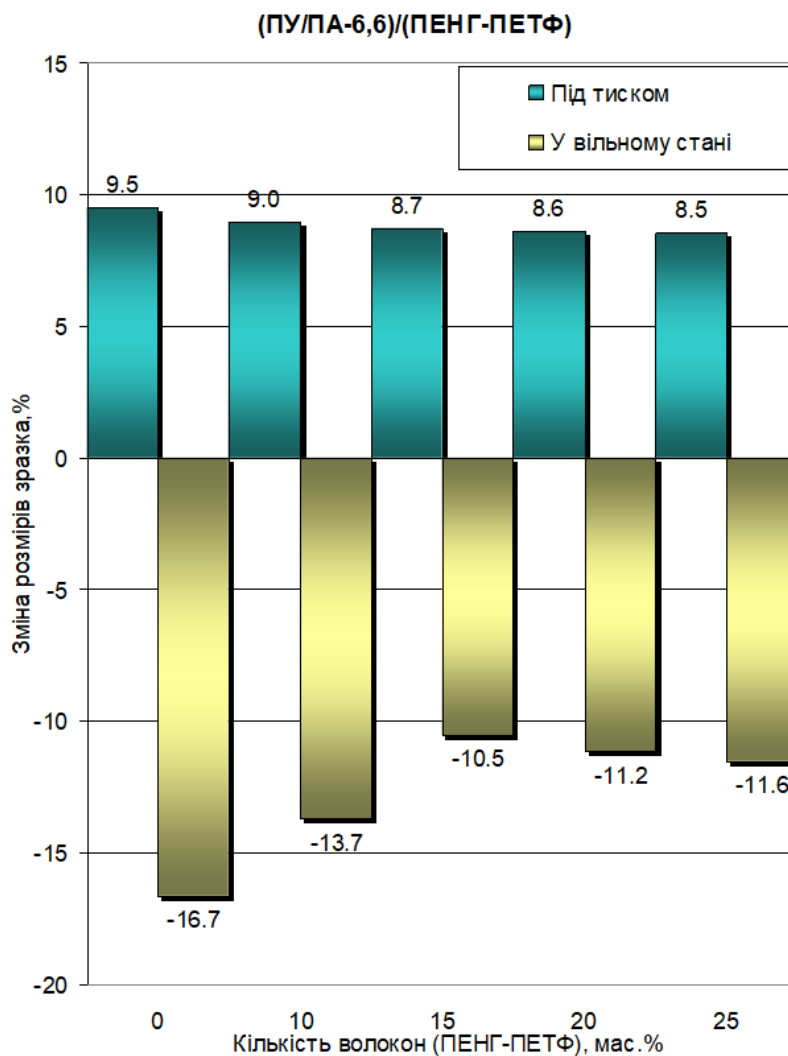


Рис 5.2. Зміна розмірів зразків нетканих матеріалів складу ПУ/ПА-6,6)/(ПЕНГ/ПЕТФ) з різним вмістом клейових волокон в процесі термоскріплення під тиском та у вільному стані

Таким чином, в лабораторних умовах реалізований процес одержання та термоскріплення нетканих матеріалів на основі волокнистих відходів (ПУ/ПА-6,6), з додаванням клейових легкоплавких моно- та бікомпонентних волокон. В результаті дослідження встановлено, що як тип клейових волокон так і їх кількість, а також

умови термообробки суттєво впливають на зміну розмірних характеристик зразків нетканих матеріалів в процесі термоскріплення.

## **5.2. Фізико-механічні властивості нетканих матеріалів, що містять різні типи та кількість клейових волокон**

Фізико-механічні показники нетканих матеріалів є комплексною характеристикою, що відображає особливості технологічного процесу їх отримання. Найбільший вплив на характеристики НМ має їх волокнистий склад, а саме хімічна природа волокон, лінійна густина, довжина різки, співвідношення компонентів.

Крім того, такі показники суттєво залежать від апаратурного оформлення та умов формування нетканого полотна, а також методів і параметрів їх скріплення на заключних стадіях технологічного процесу.

Для вивчення впливу кількості клейових волокон на фізико-механічні властивості нетканих матеріалів на основі волокнистих відходів (ПУ/ПА-6,6) доцільно використовувати ідентичні за параметрами методи їх отримання. Завдяки цьому, можна спостерігати як впливає кількість клейових волокон на властивості міцності нетканого матеріалу.

Основні результати досліджень фізико-механічних властивостей нетканих матеріалів з різним вмістом моно- та бікомпонентних клейових волокон наведено в табл. 5.1.

В процесі випробувань визначалася абсолютна міцність матеріалу ( $H/5$  см), відносна міцність ( $H \cdot m/g$ ), а також розривне видовження ( $y$  %). Відносна міцність вираховувалася виходячи з абсолютної міцності матеріалу та його поверхневої щільності.

Аналіз наведених даних свідчить про позитивний вплив моно- і бікомпонентних клейових волокон у вихідній сировині (ПУ/ПА-6,6) на фізико-механічні властивості нетканих матеріалів при різному їх вмісті. При цьому, ефективність впливу на міцнісні властивості нетканих матеріалів суттєво вища для бікомпонентних клейових волокон.

Волокнистий склад та фізико-механічні показники нетканих матеріалів

№	Волокнистий склад матеріалу, мас.%	Поверхнева щільність, г/м <sup>2</sup>	Абс. міцність, Н/5 см	Відн. міцність, Н·м/г	Розривне видовження, %
70	ПУ/ПА-6,6 (100)	392	5.0	0.3	60
71	(ПУ/ПА-6,6)/ПЕВГ (90/10)	364	16.0	0.9	50
72	(ПУ/ПА-6,6)/ПЕВГ (85/15)	403	17.3	0.9	48
73	(ПУ/ПА-6,6)/ПЕВГ (80/20)	388	27.3	1.4	52
74	(ПУ/ПА-6,6)/ПЕВГ (75/25)	273	22.3	1.6	48
75	(ПУ/ПА-6,6)/ (ПЕНГ/ПЕТФ) (90/10)	400	13.8	0.7	60
76	(ПУ/ПА-6,6)/ (ПЕНГ/ПЕТФ) (80/15)	361	31.5	1.7	62
77	(ПУ/ПА-6,6)/ (ПЕНГ/ПЕТФ) (80/20)	417	133.5	6.4	64
78	(ПУ/ПА-6,6)/ (ПЕНГ/ПЕТФ) (75/25)	254	105.5	8.3	42

На рис. 5.3. наведені механічні показники нетканих матеріалів складу (ПУ/ПА-6,6)/ПЕВГ (а) та (ПУ/ПА-6,6)/(ПЕНГ/ПЕТФ) (б) з різним вмістом клейових волокон, отриманих способом термоскріплення під тиском.

З рис. 5.3 а видно, що введення в нетканий матеріал вже 10 мас.% волокон ПЕВГ призводить до зростання відносної міцності у 3,5 рази. Одночасно, відбувається зменшення відносного розривного видовження матеріалу з 60 до 50%. Збільшення кількості клейових волокон з 10 до 25 мас.% забезпечує подальше зростання відносної міцності зразків нетканих матеріалів у 1,9 рази, при цьому їх розривне видовження суттєво не змінюється. Також, спостерігається вплив кількості бікомпонентних волокон на фізико-механічні властивості НМ.

На рис. 5.3б видно, що додавання у вихідну суміш (ПУ/ПА-6,6) вже 10 мас.% (ПЕНГ/ПЕТФ) волокон призводить до зростання відносної міцності нетканого матеріалу у 2,7 рази, при цьому розривне видовження суттєво не змінюється.

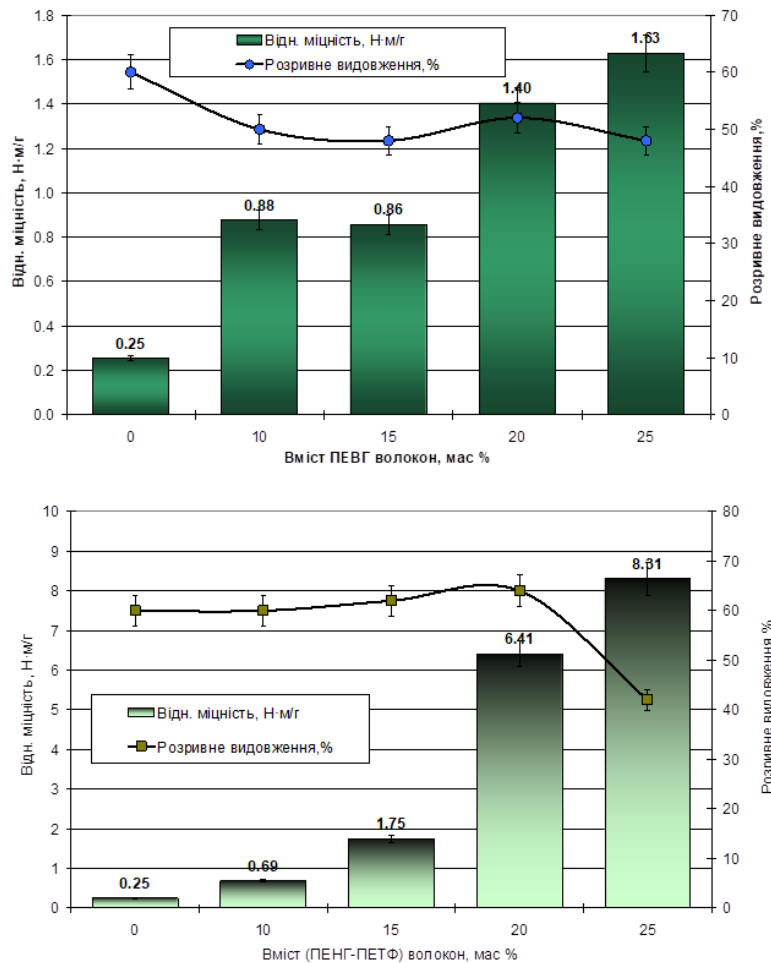


Рис 5.3. Механічні показники нетканих матеріалів складу (ПУ/ПА-6,6)/ПЕВГ (а) та (ПУ/ПА-6,6)/(ПЕНГ/ПЕТФ) (б)

Збільшення кількості клейових волокон з 10 до 25 мас.% забезпечує різке зростання відносної міцності зразків нетканих матеріалів (~у 12 разів), з одночасним зменшенням (з 62 до 42%) значень розривного видовження зразків.

Отримані результати свідчать, що введення обох досліджених типів клейових волокон в нетканий матеріал приводить до суттєвого збільшення його відносної міцності.

В порівнянні з вихідним зразком (без операції скріплення будь яким способом), відносна міцність зростає у 5,3 рази (25 мас.% ПЕВГ волокон) та у 27,7 рази (25 мас.% ПЕНГ/ПЕТФ волокон). Це демонструє більш високу ефективність бікомпонентних волокон в порівнянні з монокомпонентними, для скріплення нетканого матеріалу шляхом термообробки.

### 5.3. Визначення текстурних характеристик термоскріплених нетканих матеріалів

Кількісне визначення текстурних показників нетканих матеріалів в роботі було виконано двома незалежними методами:

- метод, який використовує алгоритм, заснований на визначенні окремих показників матриці суміжності сірого рівня (*GLCM* метод);
- фрактальний аналіз зображень поверхні зразків нетканих матеріалів з визначенням фрактальної розмірності («*box-counting*» метод, *SDBC* алгоритм).

На рис. 5.4. представлені цифрові зображення поверхні зразків нетканих матеріалів складу (ПУ/ПА-6,6)/ПЕВГ з різним вмістом клейових волокон, отриманих способом термоскріплення під тиском. Спостерігається, що додавання монокомпонентних клейових волокон впливає на характер структури поверхні нетканого матеріалу.

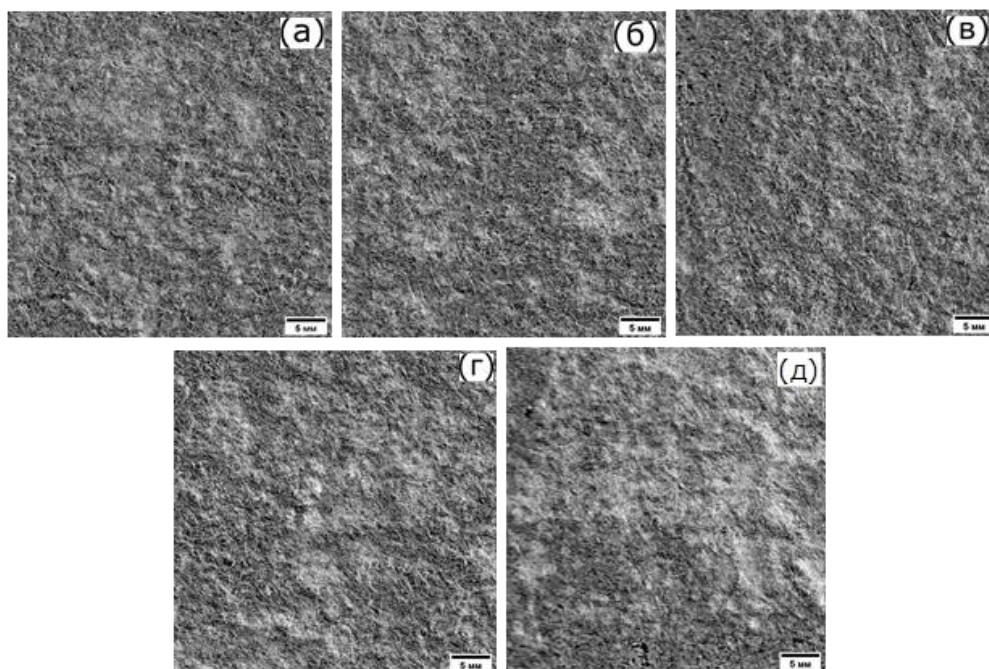


Рис 5.4. Зображення поверхні нетканих матеріалів, отриманих способом термоскріплення під тиском. Волокнистий склад матеріалу, мас. %: ПУ/ПА-6,6 (100) (а); (ПУ/ПА-6,6)/ПЕВГ (90/10) (б); (ПУ/ПА-6,6)/ПЕВГ (85/15) (в); (ПУ/ПА-6,6)/ПЕВГ (80/20) (г); (ПУ/ПА-6,6)/ПЕВГ (75/25) (д)

В табл. 5.2. наведені узагальнені текстурні показники та фрактальна розмірність зображень поверхні нетканих матеріалів (ПУ/ПА-6,6)/ПЕВГ.

Таблиця 5.2

Текстурні показники (GLCM метод) та фрактальна розмірність при аналізі зображень нетканих матеріалів (ПУ/ПА-6,6)/ПЕВГ

№	Волокнистий склад матеріалу, мас. %	Показники текстури (GLCM метод)					Фрактальний аналіз ("box counting" метод, SDBC алгоритм)
		Другий кутовий момент	Контраст	Кореляція	Момент зворотної різниці	Ентропія	Фрактальна розмірність
70	ПУ/ПА-6,6 (100)	7.57E-05	1.13E+03	3.46E-04	0.052	9.934	2.7198
71	(ПУ/ПА-6,6)/ПЕВГ (90/10)	5.12E-05	1.50E+03	2.59E-04	0.042	10.245	2.7361
72	(ПУ/ПА-6,6)/ПЕВГ (85/15)	6.09E-05	1.09E+03	3.09E-04	0.047	10.073	2.7307
73	(ПУ/ПА-6,6)/ПЕВГ (80/20)	6.18E-05	1.06E+03	3.28E-04	0.046	10.038	2.7182
74	(ПУ/ПА-6,6)/ПЕВГ (75/25)	1.02E-04	6.68E+02	4.12E-04	0.068	9.668	2.7047

Спостерігається, що додавання ПЕВГ призводить до зміни як окремих показників текстури, визначені за *GLCM* методом так і показників фрактальної розмірності. На рис. 5.5. показано вплив кількості волокон ПЕВГ в нетканих матеріалах, на зміну таких показників, як «другий кутовий момент» та «ентропія».

Треба зазначити, що показник «другий кутовий момент» характеризує однорідність структури, тоді як показник «ентропія» можна вважати характеристикою неоднорідності структури.

З цих двох графіків видно, що вказані показники змінюються антибатно, тобто протилежним чином. Аналіз наведених залежностей демонструє, що введення у вихідну суміш вже 10 мас.% волокон ПЕВГ, зменшує однорідність структури матеріалу.



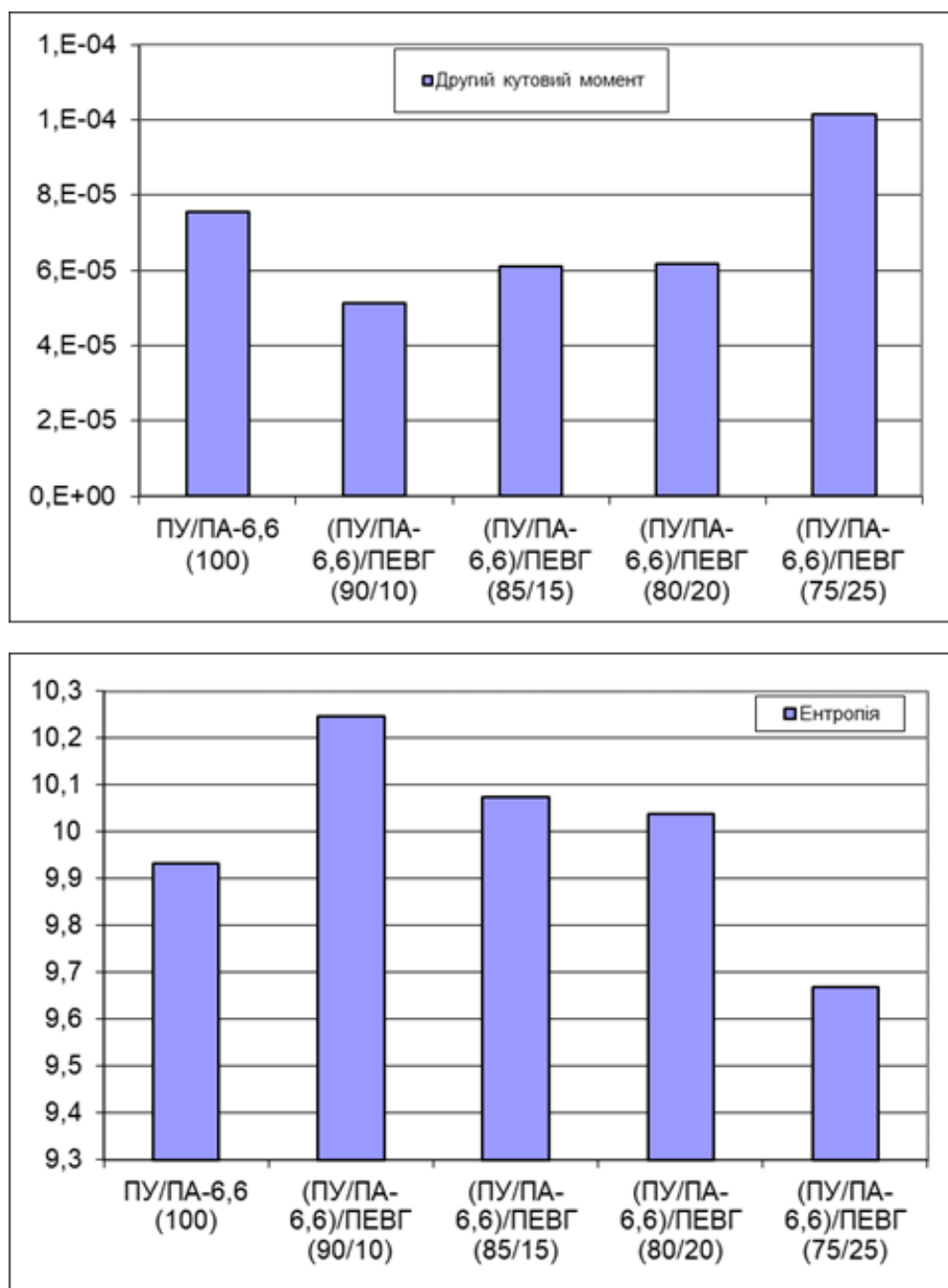


Рис 5.5. Текстурні показники нетканих матеріалів (ПУ/ПА-6,6)/ПЕВГ з різним вмістом ПЕВГ, отриманих способом термоскріплення під тиском

Подальше збільшення кількості клейових волокон ПЕВГ призводить до нелінійного зростання однорідності текстури матеріалу. Найбільшою однорідністю відрізняються зразки, які містять 25 мас.% ПЕВГ.

Треба зазначити, що для зразка цього складу значення однорідності навіть вище, чим для вихідного зразка (ПУ/ПА-6,6), що не містить волокон ПЕВГ.

На рис. 5.6. наведено вплив кількості волокон на такі текстурні показники як «контраст» та «момент зворотної різниці».

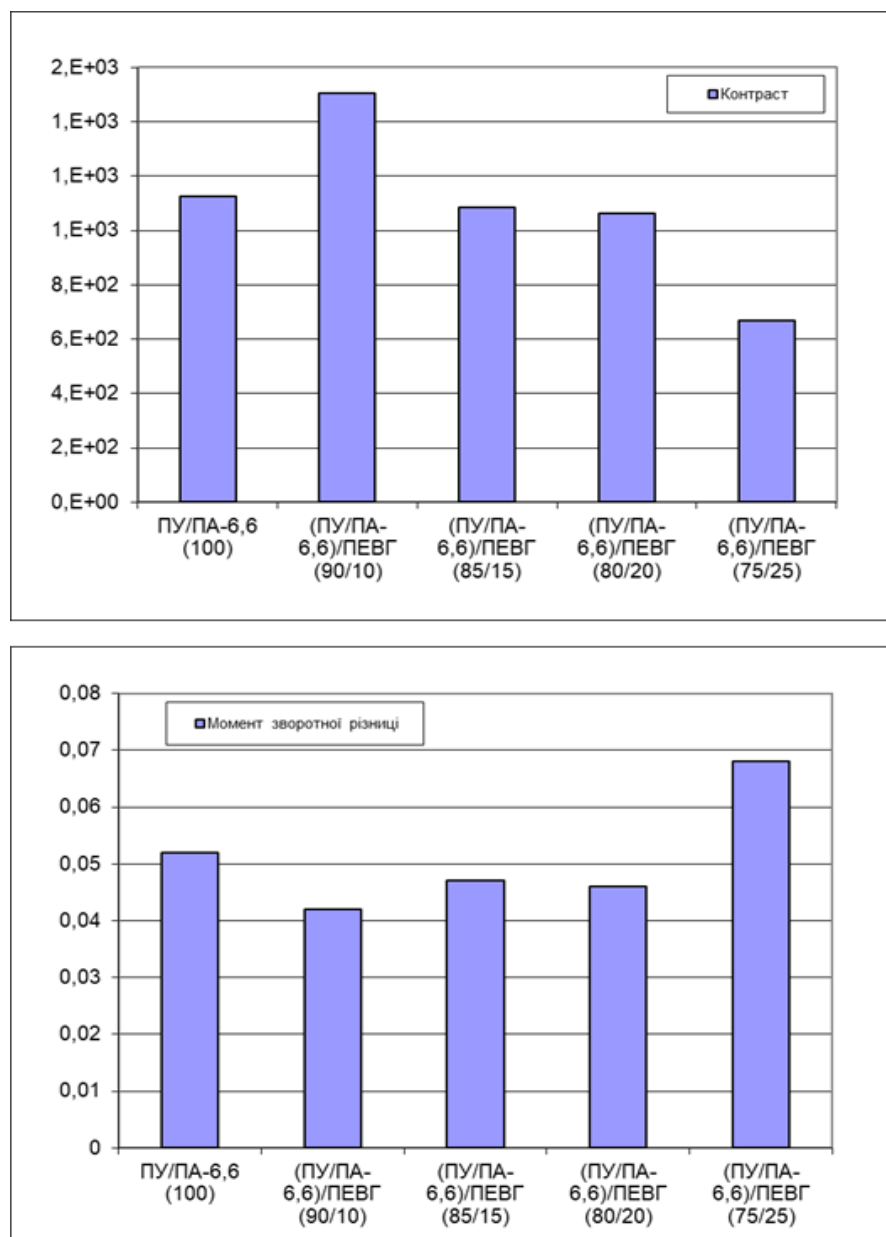


Рис 5.6. Текстурні показники нетканих матеріалів (ПУ/ПА-6,6)/ПЕВГ з різним вмістом ПЕВГ, отриманих способом термоскріплення під тиском

Також як і в попередньому випадку, ці показники змінюються антибатно, що добре узгоджується з теоретичними основами використання *GLCM* алгоритму. Якщо показник «контраст» характеризує наявність на зображенні різких переходів або його зашумленість, то «зворотний момент різниці» характеризує гомогенність розподілу структурних елементів на зображенні.

З рис. 5.6. видно, що при додаванні 10 мас.% волокон ПЕВГ відбувається зменшення гомогенності розподілу елементів та збільшення зашумленості зображення.

При подальшому зростанні кількості волокон ПЕВГ у складі матеріалу відбувається зростання гомогенності та шуму. При вмісті ПЕВГ волокон 25 мас.%, значення гомогенності матеріалу перевищує значення, отримане для вихідного зразка.

Таким чином отримані результати свідчать про вплив волокнистого складу нетканого матеріалу на його текстурні показники. При цьому для матеріалу складу (ПУ/ПА-6,6)/ПЕВГ (75/25) характерні найвищі значення текстурних показників, що характеризують однорідність матеріалу та найменші значення показників, що характеризують неоднорідність.

Схожий характер зміни демонструє й інший показник текстури, такий як «кореляція» (рис. 5.7а).

Другий незалежний метод визначення текстурних характеристик нетканих матеріалів є фрактальний аналіз їх поверхні. Отримані результати фрактального аналізу наведені на рис. 5.7б. Треба зазначити, що показник фрактальної розмірності характеризує складність текстури зображення.

З наведених даних видно, що характер зміни фрактальної розмірності, отриманої «*box-counting*» методом, подібний до характеру залежності таких показників як «ентропія» та «контраст», що були отримані *GLCM* методом. Додавання у вихідну суміш вже 10 мас.% волокон ПЕВГ збільшує значення фрактальної розмірності з 2,72 до 2,74.

При подальшому збільшенні концентрації волокон ПЕВГ значення фрактальної розмірності, практично лінійно зменшується. Для зразка нетканого матеріалу, що вміщує 25 мас.% волокон ПЕВГ спостерігається найменше значення фрактальної розмірності серед усіх досліджених зразків.

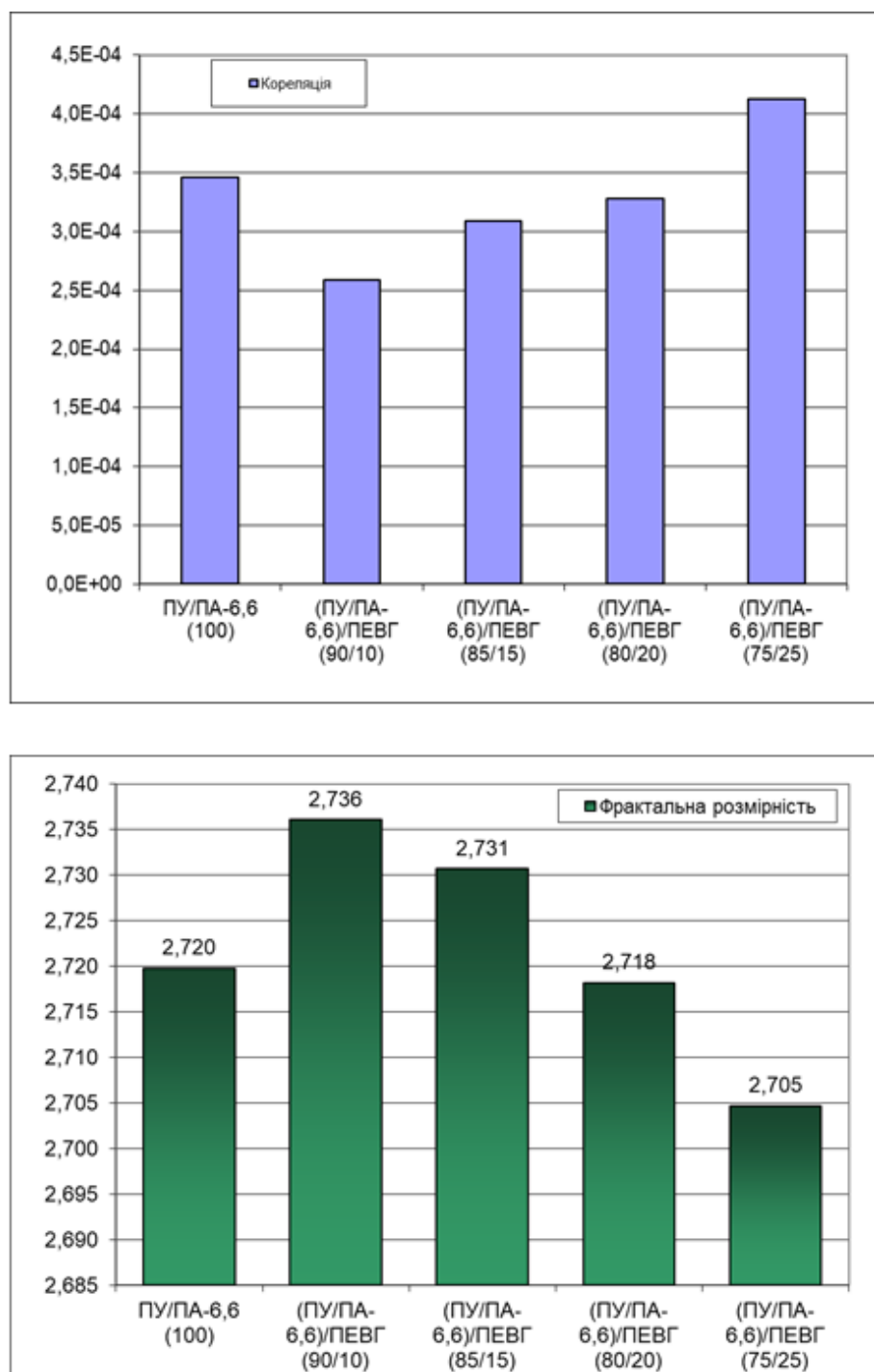


Рис 5.7. Текстурні показники нетканих матеріалів (ПУ/ПА-6,6)/ПЕВГ з різним вмістом ПЕВГ, отриманих способом термоскріплення під тиском: а) GLCM метод аналізу зображень; б) фрактальний аналіз («box counting» метод, SDBC алгоритм)

На рис. 5.8. наведено приклад розрахунку фрактальної розмірності «box-counting» методом при аналізі зображень поверхні нетканих матеріалів (ПУ/ПА-6,6)/ПЕВГ з різним вмістом ПЕВГ, отриманих способом термоскріплення під тиском.

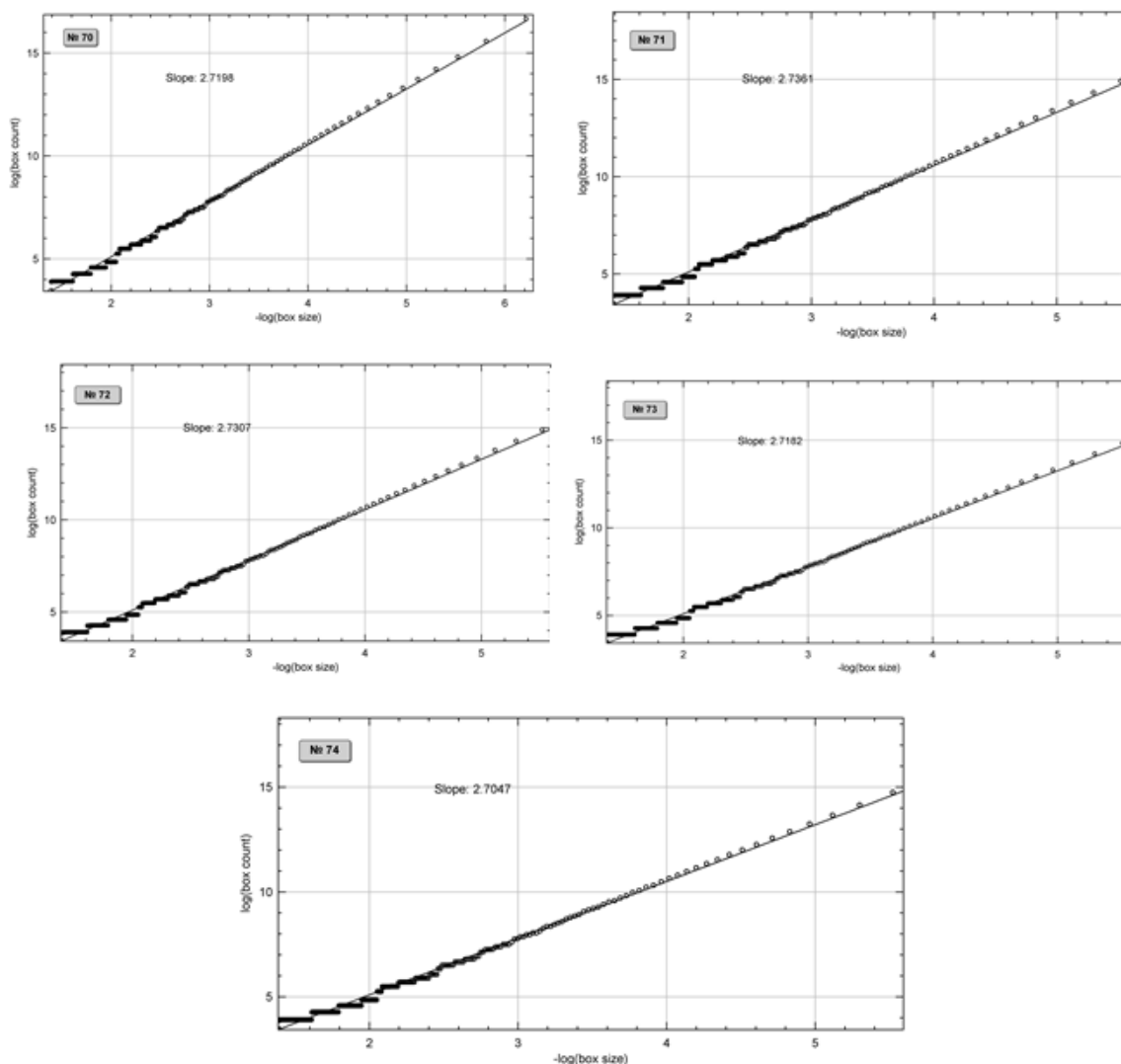


Рис 5.8. Приклад розрахунку фрактальної розмірності при аналізі зображень поверхні нетканих матеріалів (ПУ/ПА-6,6)/ПЕВГ з різним вмістом ПЕВГ, отриманих способом термоскріплення під тиском. «*Box-counting*» метод, SDVC алгоритм

Спостерігається, що залежність між розміром комірок, що містять елементи структури, та їх кількістю близька до лінійної (в логарифмічних координатах), що узгоджується з теоретичними положеннями цього методу.

Представляло певний інтерес дослідити існування взаємозв'язку між текстурними показниками (*GLCM* метод) та фрактальною розмірністю («*box-counting*» метод) при аналізі зображень нетканих матеріалів (ПУ/ПА-6,6)/ПЕВГ з різним вмістом ПЕВГ, отриманих способом термоскріплення під тиском. Результати кореляційного аналізу наведено на рис. 5.9.

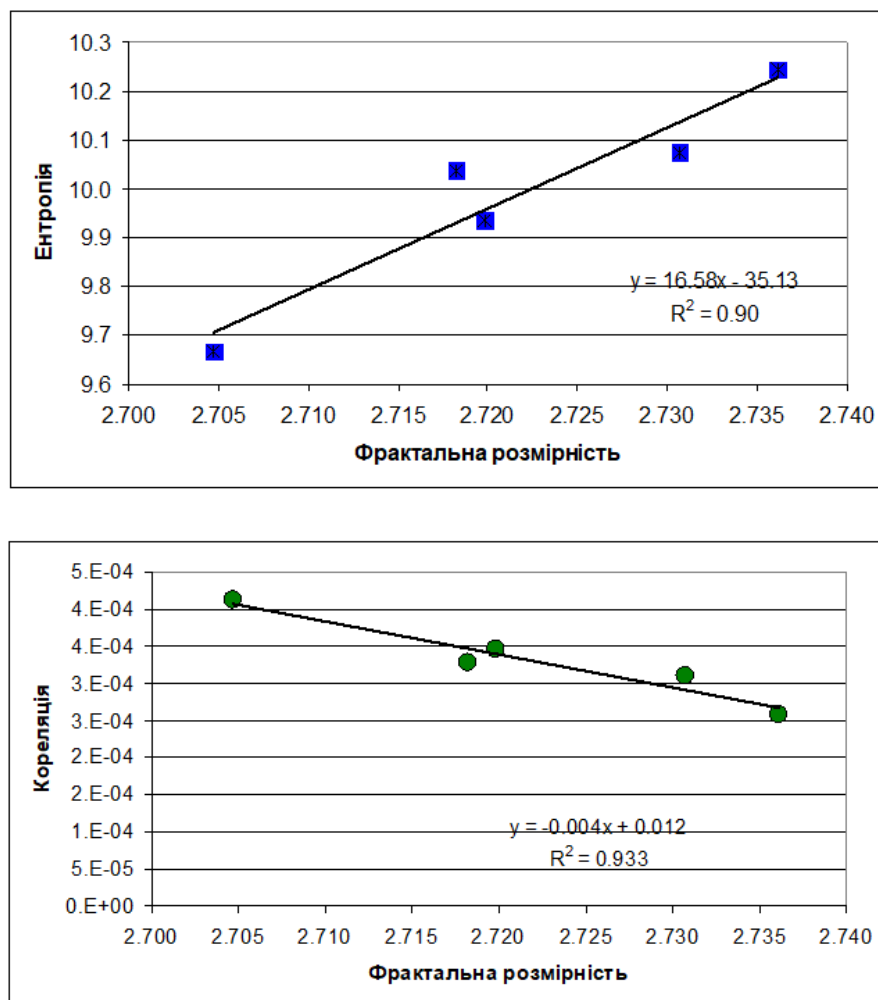


Рис 5.9. Кореляційний взаємозв'язок між текстурними показниками (GLCM метод) та фрактальною розмірністю при аналізі зображень нетканих матеріалів (ПУ/ПА-6,6)/ПЕВГ з різним вмістом ПЕВГ, отриманих способом термоскріплення під тиском

Між текстурними показниками, що були отримані *GLCM* методом та їх фрактальною розмірністю існує лінійний кореляційний зв'язок з високим коефіцієнтом лінійної кореляції.

Таким чином, визначена залежність текстурних показників нетканих матеріалів складу (ПУ/ПА-6,6)/ПЕВГ від кількості клейових волокон ПЕВГ в його складі. Показано, що найвищу однорідність мають зразки матеріалів (ПУ/ПА-6,6)/ПЕВГ складу 75/25. Встановлений лінійний кореляційний взаємозв'язок між текстурними показниками та фрактальною розмірністю для нетканих волокнистих матеріалів з різною кількістю волокон ПЕВГ.

На рис. 5.10. представлені цифрові зображення поверхні зразків нетканих матеріалів складу (ПУ/ПА-6,6)/(ПЕНГ/ПЕТФ) з різним вмістом клейових волокон, отриманих способом термоскріплення під тиском.

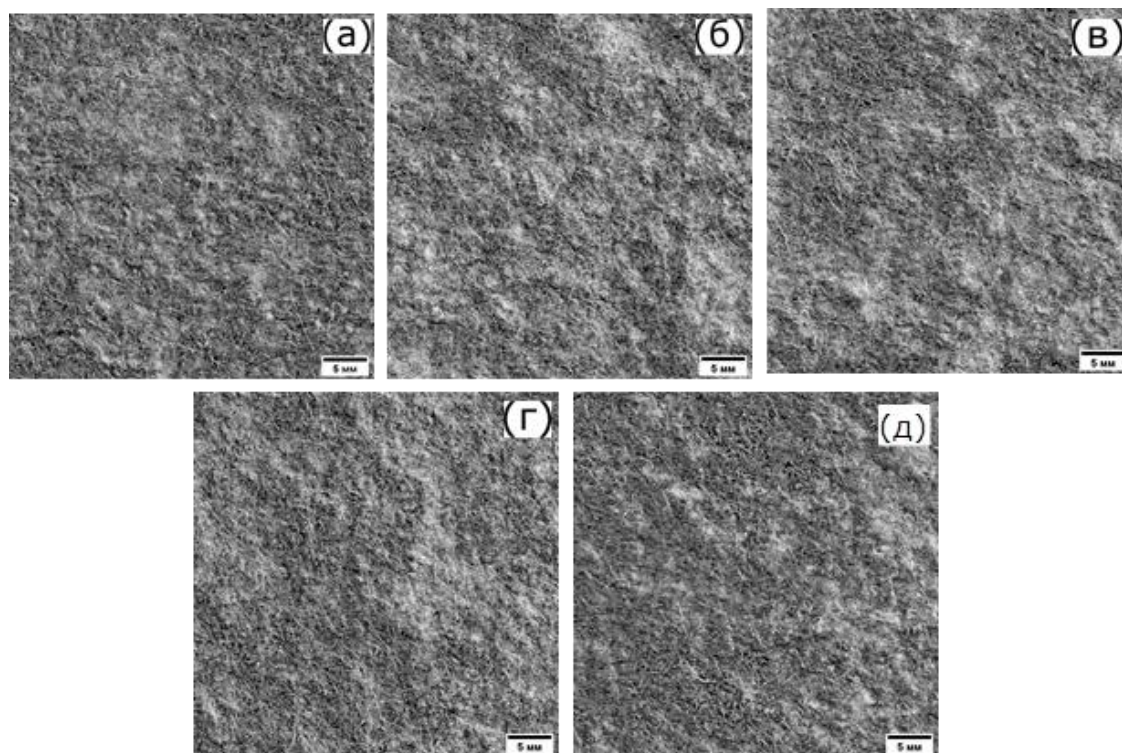


Рис 5.10. Зображення поверхні нетканих матеріалів, отриманих способом термоскріплення під тиском. Волокнистий склад матеріалу, мас. %: ПУ/ПА-6,6 (100) (а); (ПУ/ПА-6,6)/ (ПЕНГ/ПЕТФ) (90/10) (б); (ПУ/ПА-6,6)/ (ПЕНГ/ПЕТФ) (85/15) (в); (ПУ/ПА-6,6)/ (ПЕНГ/ПЕТФ) (80/20) (г); (ПУ/ПА-6,6)/ (ПЕНГ/ПЕТФ) (75/25) (д)

Додавання бікомпонентних клейових волокон впливає на характер структури поверхні нетканого матеріалу.

В табл. 5.3. наведені узагальнені текстурні показники та фрактальна розмірність зображень матеріалів (ПУ/ПА-6,6)/(ПЕНГ/ПЕТФ).

Додавання волокон ПЕНГ/ПЕТФ призводить до зміни показників текстури, визначеними за *GLCM* методом так і показників фрактальної розмірності. Розглянемо зміну окремих показників більш детально.

На рис. 5.11. показано вплив кількості волокон ПЕНГ/ПЕТФ в нетканих матеріалах, на зміну таких показників, як «другий кутовий момент» та «ентропія».

Текстурні показники (GLCM метод) та фрактальна розмірність при аналізі зображень нетканих матеріалів (ПУ/ПА-6,6)/ (ПЕНГ/ПЕТФ)

№ п/п	Волокнистий склад матеріалу, мас.%	Показники текстури (GLCM метод)					Фрактальний аналіз ("box counting" метод, SDBC алгоритм)
		Другий кутовий момент	Контраст	Кореляція	Момент зворотної різниці	Ентропія	Фрактальна розмірність
70	ПУ/ПА-6,6 (100)	392	7.57E-05	1.13E+03	3.46E-04	0.052	9.934
75	(ПУ/ПА-6,6)/ (ПЕНГ/ПЕТФ) (90/10)	400	6.96E-05	1.02E+03	3.56E-04	0.049	9.949
76	(ПУ/ПА-6,6)/ (ПЕНГ/ПЕТФ) (85/15)	361	8.36E-05	8.69E+02	3.81E-04	0.061	9.838
77	(ПУ/ПА-6,6)/ (ПЕНГ/ПЕТФ) (80/20)	417	1.45E-04	3.99E+02	5.09E-04	0.101	9.353
78	(ПУ/ПА-6,6)/ (ПЕНГ/ПЕТФ) (75/25)	254	1.51E-04	2.67E+02	5.08E-04	0.102	9.230

Спостерігається, що вказані показники змінюються антибатно. Аналіз наведених залежностей демонструє, що введення у вихідну суміш до 15 мас.% волокон ПЕНГ/ПЕТФ, не значним чином впливає на однорідність структури матеріалу.

Подальше збільшення кількості клейових волокон ПЕНГ/ПЕТФ призводить до нелінійного зростання однорідності текстури матеріалу. Найбільшою однорідністю відрізняються зразки, які містять 25 мас.% волокон ПЕНГ/ПЕТФ.



Треба зазначити, що для зразка цього складу значення однорідності вище, чим для вихідного зразка (ПУ/ПА-6,6), що не містить волокон ПЕНГ/ПЕТФ.

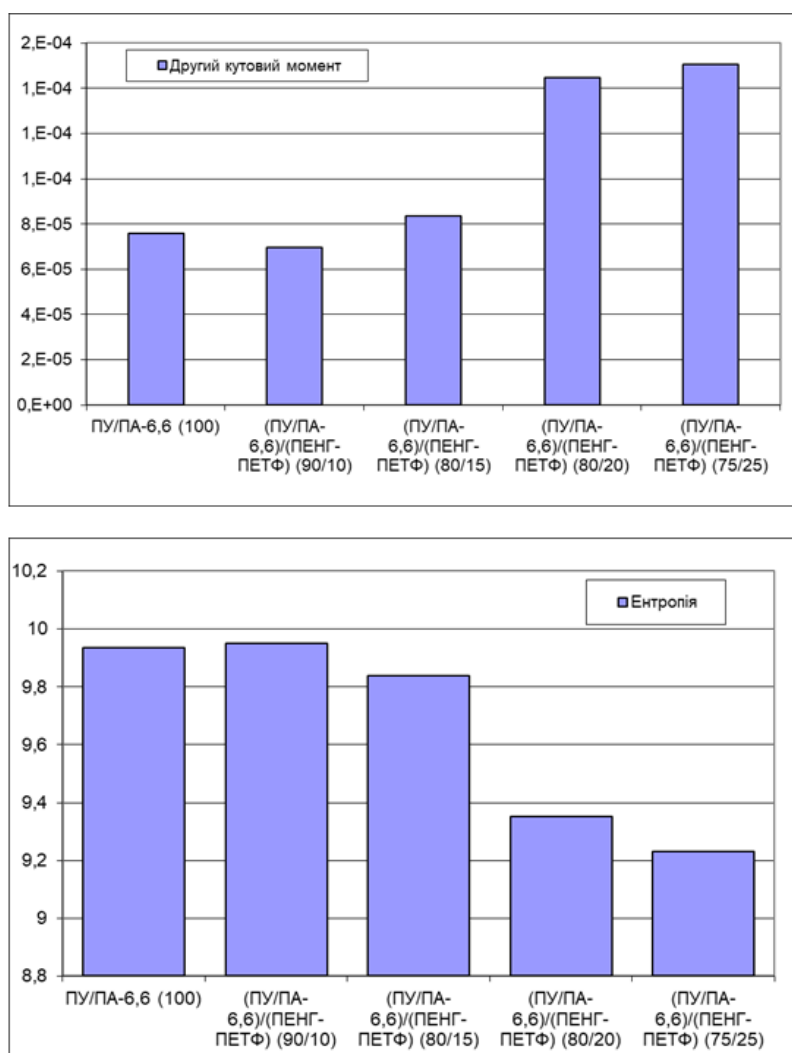


Рис 5.11. Текстурні показники (GLCM метод аналізу зображень) нетканих матеріалів (ПУ/ПА-6,6)/(ПЕНГ/ПЕТФ), отриманих способом термоскріплення під тиском з різним вмістом (ПЕНГ/ПЕТФ) волокон

На рис. 5.12. наведено вплив кількості волокон на такі текстурні показники як «контраст» та «момент зворотної різниці». Так як і в попередньому випадку, ці показники змінюються антибатно, що узгоджується з теоретичними основами використання *GLCM* алгоритму. З рис. 5.12. видно, що при додаванні волокон ПЕНГ/ПЕТФ відбувається збільшення гомогенності розподілу елементів та зменшення зашумленості зображення. При вмісті ПЕНГ/ПЕТФ волокон 25 мас.%,

значення гомогенності матеріалу суттєво перевищує значення, отримане для вихідного зразка.

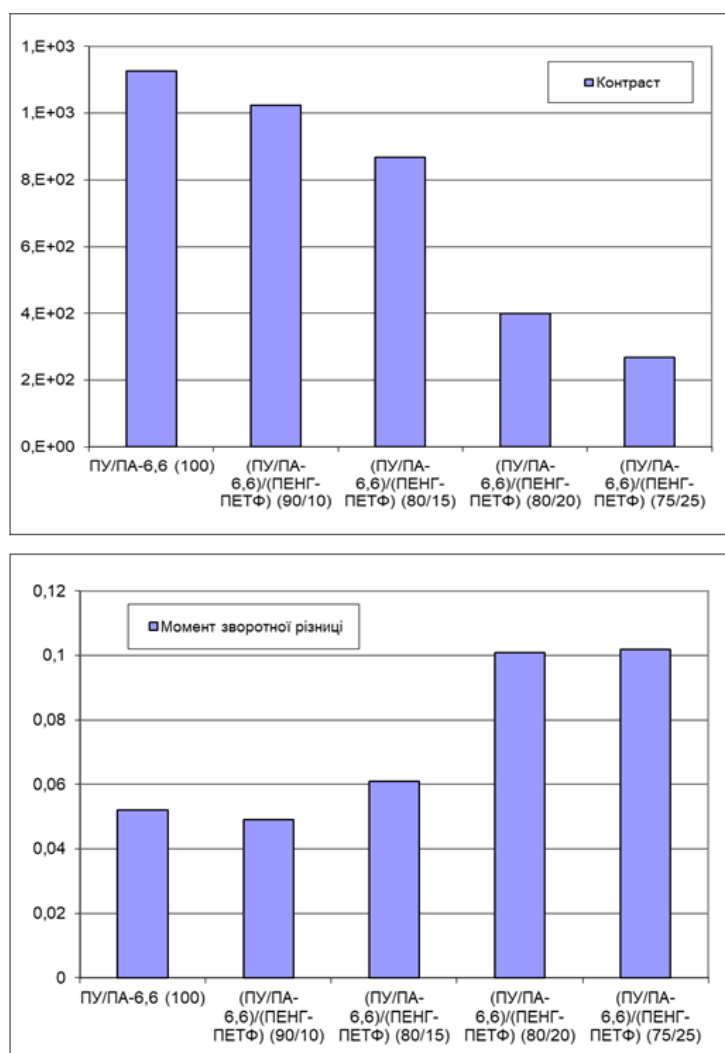


Рис.5.12. Текстурні показники (GLCM метод аналізу зображень) нетканих матеріалів (ПУ/ПА-6,6)/(PENГ/ПЕТФ), отриманих способом термоскріплення під тиском

Таким чином отримані результати свідчать про вплив волокнистого складу нетканого матеріалу на його текстурні показники. При цьому для матеріалу складу (ПУ/ПА-6,6)/(PENГ/ПЕТФ) (75/25) характерні найвищі значення текстурних показників, що характеризують однорідність матеріалу та найменші значення показників, що характеризують неоднорідність. Схожий характер зміни демонструє й інший показник текстури, такий як «кореляція» (рис. 5.13а).

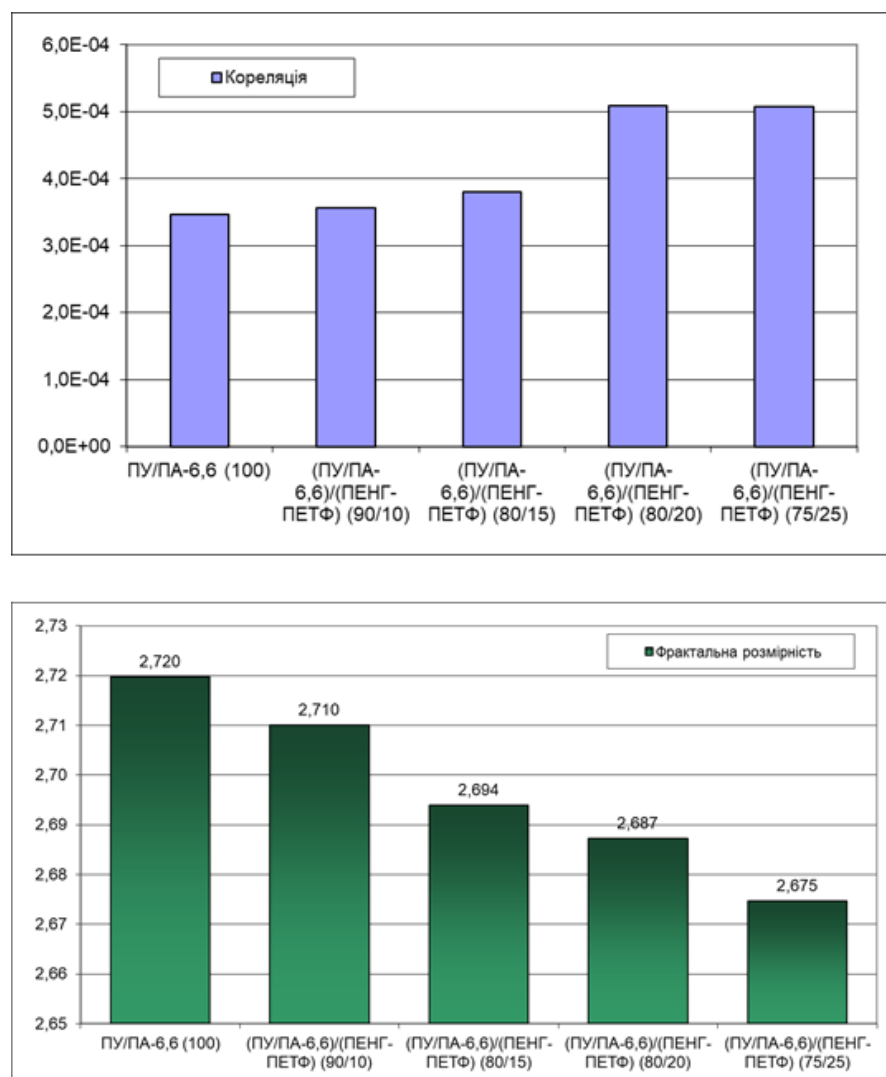


Рис 5.13. Текстурні показники нетканих матеріалів (ПУ/ПА-6,6)/(ПЕНГ/ПЕТФ), отриманих способом термоскріплення під тиском: а) GLCM метод аналізу зображень; б) фрактальний аналіз («box counting» метод, SDBC алгоритм)

Отримані результати фрактального аналізу наведені на рис. 5.13б. З наведених даних видно, що характер зміни фрактальної розмірності, отриманої «box-counting» методом, подібний до характеру залежності таких показників як «ентропія» та «контраст», що були отримані *GLCM* методом.

Додавання у вихідну суміш до 25 мас.% волокон ПЕНГ/ПЕТФ зменшує значення фрактальної розмірності з 2.72 до 2.67. Для зразка нетканого матеріалу, що вміщує 25 мас.% волокон ПЕНГ/ПЕТФ спостерігається найменше значення фрактальної розмірності серед усіх досліджених зразків.

На рис. 5.14. наведено приклад розрахунку фрактальної розмірності «*box-counting*» методом при аналізі зображень поверхні нетканих матеріалів (ПУ/ПА-6,6)/ПЕНГ/ПЕТФ з різним вмістом ПЕНГ/ПЕТФ, отриманих способом термоскріплення під тиском.

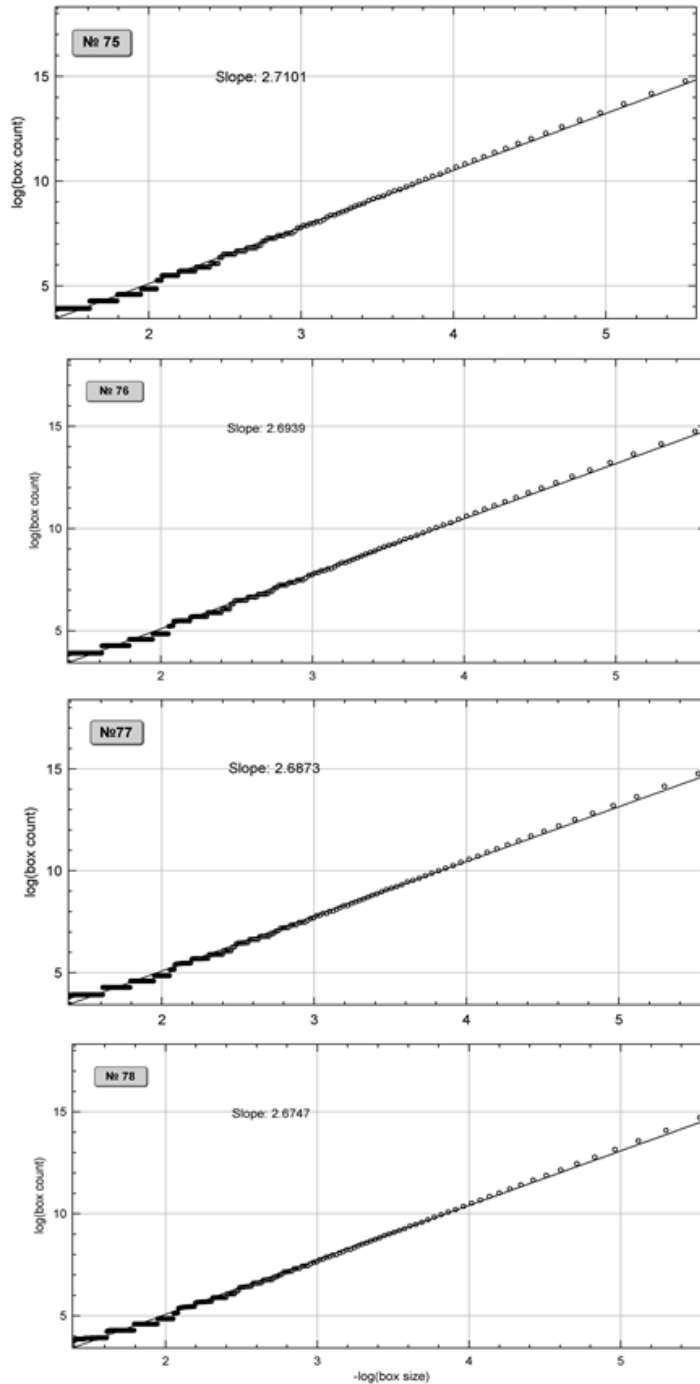


Рис 5.14. Приклад розрахунку фрактальної розмірності при аналізі зображень поверхні нетканих матеріалів (ПУ/ПА-6,6)/(ПЕНГ/ПЕТФ) з різним вмістом бікомпонентних волокон, отриманих способом термоскріплення під тиском. «*Box-counting*» метод, SDBC алгоритм

Залежність між розмірами комірок, що містять елементи структури, та їх кількістю близька до лінійної (в логарифмічних координатах), що узгоджується з теоретичними положеннями цього методу.

Представляло певний інтерес дослідити існування взаємозв'язку між текстурними показниками (*GLCM* метод) та фрактальною розмірністю («*box-counting*» метод). Результати кореляційного аналізу наведено на рис. 5.15.

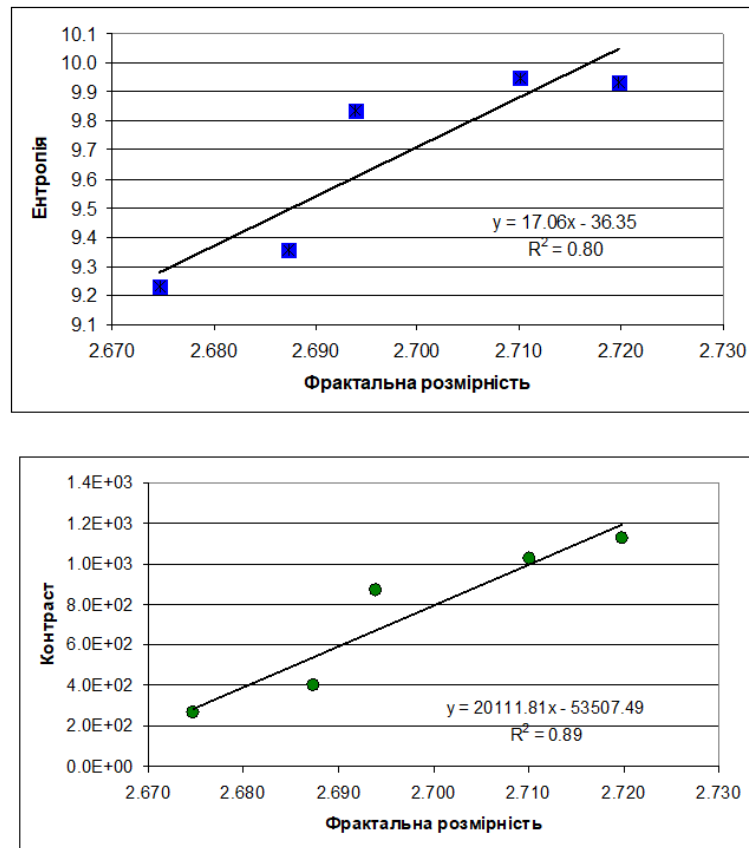


Рис 5.15. Кореляційний взаємозв'язок між текстурними показниками (*GLCM* метод) та фрактальною розмірністю при аналізі зображень нетканних матеріалів (ПУ/ПА-6,6)/(ПЕНГ/ПЕТФ) з різним вмістом бікомпонентних волокон, отриманих способом термоскріплення під тиском

Залежності свідчать, що між текстурними показниками зразків, що отримані *GLCM* методом та їх фрактальною розмірністю існує лінійний кореляційний зв'язок з високим коефіцієнтом лінійної кореляції.

Таким чином, визначена залежність текстурних показників нетканних матеріалів складу (ПУ/ПА-6,6)/(ПЕНГ/ПЕТФ) від кількості клейових волокон ПЕВГ

в його складі. Показано, що найвищу однорідність мають зразки матеріалів (ПУ/ПА-6,6)/(ПЕНГ/ПЕТФ) складу 75/25. Встановлено лінійний кореляційний взаємозв'язок між текстурними показниками та фрактальною розмірністю для нетканих волокнистих матеріалів з різною кількістю волокон ПЕНГ/ПЕТФ.

#### **5.4. Технологічні особливості одержання термоскріплених нетканих матеріалів на основі волокнистих відходів ПУ/ПА-6,6**

Існує декілька способів термоскріплення волокнистого холста:

- нагрітими валами коландрів;
- пропусканням холста між нагрітою площею барабана та транспортуючою стрічкою;
- гарячим повітрям на сітчастих транспортерах [121].

Головним чином, термообробка волокнистого холста проводиться при температурі плавлення скріплюючого волокна [122]. У дослідженні використовували два види волокон для скріплення нетканого холста: поліетилен високої густини (ПЕВГ)  $t_{\text{пл}} - 129-135^{\circ}\text{C}$ ; бікомпонентне волокно типу ядро-оболонка, що складається з ядра поліетилентерефталату (ПЕТФ)  $t_{\text{пл}} - 275^{\circ}\text{C}$ , та оболонки поліетилену низької густини (ПЕНГ)  $t_{\text{пл}} - 105^{\circ}\text{C}$  [123].

Попередньо подрібнені волокна на штапельній машині з роторними ножами (довжина різки 30 мм) змішували у певному співвідношенні. Замішування волокнистих матеріалів може бути виконано ручним та механізованим способом. У дослідженні застосовується ручне змішування. На рис.5.16. представлена технологічна схема одержання термоскріплених НМ.

Після змішування сировина проходить операцію холстоутворення на чесальній машині марки ЧБВ. Робоча ширина 1800 мм, швидкість прочосу – 13,57-44,65 м/хв, робочі зазори між робочими органами чесальної машини склали 0,3-0,4 мм. В залежності від складу і якості отриманого матеріалу, операцію прочісування повторювали 2-5 разів.

На подальшій стадії отримання нетканого матеріалу отриманий холст піддається термообробці на печі з двома транспортерами УУН-380. Робоча

температура  $<220^{\circ}\text{C}$ . Далі неткане полотно поступає на двовальну гладильну машини YUTW-360, звідки намотується та проходить стадію різки готового продукту.

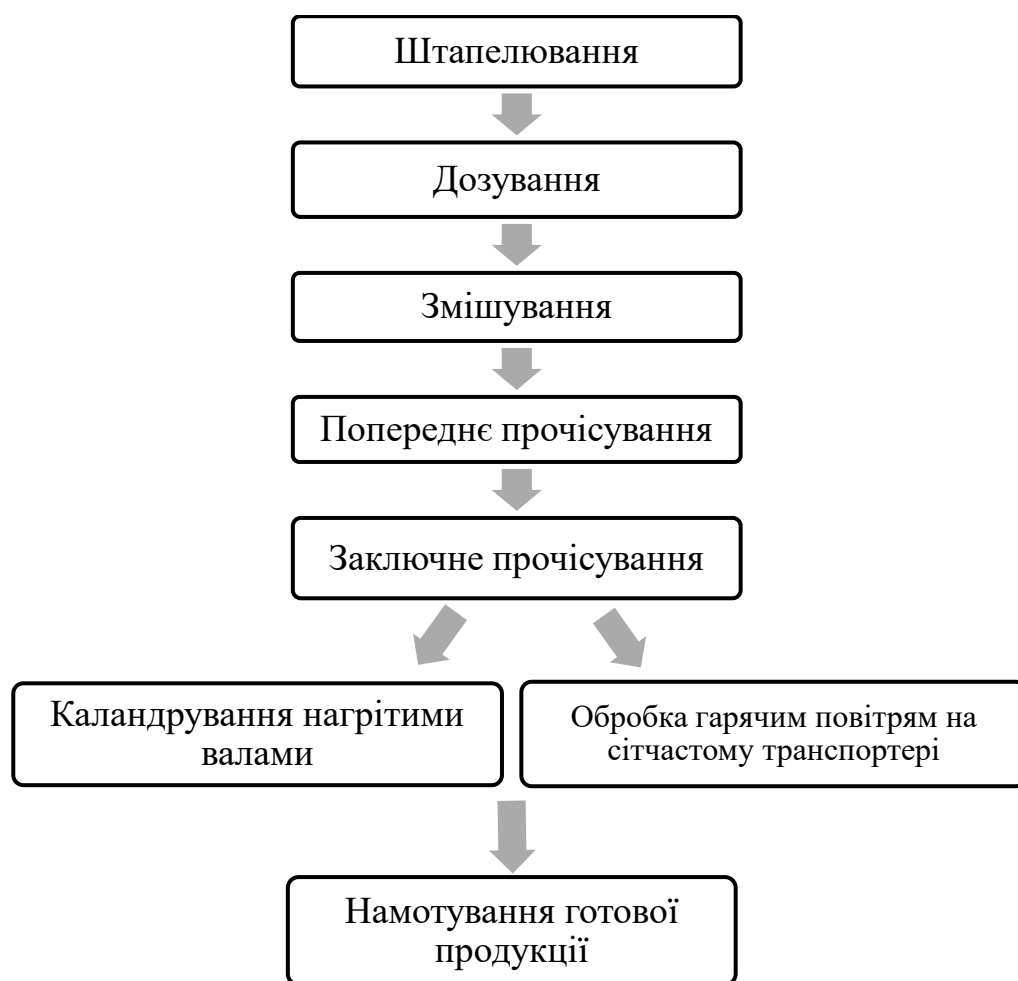


Рис. 5.16. Технологічний процес одержання термоскріплених нетканних матеріалів на основі комплексних ниток ПУ/ПА-6,6

Термоскріплені неткані матеріали на основі волокнистих відходів ПУ/ПА-6,6 з додаванням, у якості додаткового компоненту, клейових волокон ПЕВГ, ПЕНГ/ПЕТФ можуть використовуватися в якості утеплювачів, наповнювачів, прокладкових елементів у меблевій промисловості, а також для теплоізоляції в промисловості та побуті.

## Висновки до розділу 5.

1. Реалізований процес одержання та термоскріплення нетканих матеріалів на основі волокнистих відходів (ПУ/ПА-6,6), з додаванням легкоплавких моно- та бікомпонентних волокон як клейових.
2. Встановлено, що як тип клейових волокон так і їх кількість, а також умови термообробки суттєво впливають на зміну розмірних характеристик зразків нетканих матеріалів в процесі термоскріплення.
3. Встановлено, що введення обох досліджених типів клейових волокон в нетканий матеріал, суттєво збільшує його відносну міцність. В порівнянні з вихідним (ПУ/ПА-6,6) зразком, відносна міцність складу 75/25 зростає у 5,3 та у 27,7 рази для моно- та бікомпонентних волокон відповідно.
4. Показано, що використання термоскріплення для нетканого матеріалу складу (ПУ/ПА-6,6)/(ПЕНГ/ПЕТФ) (80/20) забезпечує зростання його відносної міцності (в порівнянні з голкопробивним зразком)  $\sim$ у 3 рази при незначному (до 64%) збільшенні розривного видовження.
5. Визначена залежність текстурних показників нетканих матеріалів на основі (ПУ/ПА-6,6) від кількості клейових волокон в його складі. Показано, що найвищі показники текстурної однорідності мають зразки матеріалів, що вміщують 25 мас.% клейових моно- та бікомпонентних волокон.
6. Встановлено лінійний кореляційний взаємозв'язок між текстурними показниками та фрактальною розмірністю для нетканих волокнистих матеріалів на основі (ПУ/ПА-6,6) з різною кількістю клейових волокон.



## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. В роботі вирішене важливе науково-прикладне завдання отримання нетканих матеріалів з регульованими властивостями із суміші хімічних волокон на основі промислових волокнистих відходів. Встановлено вплив хімічного складу, співвідношення волокнистих компонентів та методів скріплення полотен на властивості нетканих матеріалів для виробів різного призначення, зокрема для одержання високоеластичних матеріалів для теплоізоляції об'єктів складної геометричної форми.
2. Визначено структурні особливості нетканих матеріалів на основі волокнистих відходів комплексних ниток ПУ/ПА-6,6 за різного співвідношення компонентів. Показано, що найвищі показники текстурної однорідності мають зразки матеріалів, що вміщують 25 мас.% клейових ПЕВГ та ПЕНГ/ПЕТФ волокон.
3. Визначено вплив особливостей скріплення нетканих матеріалів на формування їх властивостей. Доведено, що використання термоскріплення для нетканого матеріалу складу (ПУ/ПА-6,6)/(ПЕНГ/ПЕТФ) (80/20) забезпечує зростання його відносної міцності (в порівнянні з голкопробивними зразками)  $\sim$  у 3 рази при збільшенні (до 64%) розривного видовження.
4. Визначено відмінності у фізико-механічних властивостях нетканих матеріалів різного хімічного складу з додаванням додаткових компонентів – волокон льону та ПЕТФ. Доведено, що додавання у вихідну суміш волокон ПЕТФ дозволяє підвищити відносну міцність нетканих матеріалів (у 12-15 разів) в порівнянні з вихідним зразком (ПУ/ПА-6,6). Найбільшою міцністю (33,1 Н·м/г) характеризуються зразки (ПУ/ПА-6,6)/ПЕТФ складу 60/40 мас.%. Збільшення кількості волокон ПЕТФ до 50 мас.% призводить до нелінійного зростання розривного видовження нетканого матеріалу (з 60 до 89%). Доведено, що додавання льону у вихідну суміш є менш ефективним з точки зору забезпечення зростання відносної міцності матеріалу. Найбільшу міцність демонструють зразки, (ПУ/ПА-6,6)/Льон складу 90/10 мас.%, що забезпечує зростання відносної міцності на 10%.

5. Визначено релаксаційні характеристики нетканих матеріалів різного хімічного складу. Доведено, що зміна волокнистого складу досліджених зразків дозволяє регулювати релаксаційні властивості матеріалу в широких межах. При цьому, введення у вихідну суміш волокон ПЕТФ, забезпечує підвищення еластичної складової деформації.
6. Визначено вплив хімічного складу та співвідношення волокнистих компонентів на показник гігроскопічності голкопробивних нетканих матеріалів. Доведено, що додавання у вихідну суміш до 20 мас.% як волокон ПЕТФ так і льону несуттєво впливає на показник водопоглинання нетканих матеріалів на основі ПУ/ПА-6,6.
7. Встановлено лінійний кореляційний взаємозв'язок між текстурними показниками та фрактальною розмірністю для нетканих волокнистих матеріалів на основі (ПУ/ПА-6,6) з різною кількістю клейових волокон. Доведено, що додавання у вихідну волокнисту суміш ПУ/ПА-6,6 волокон ПЕТФ зменшує, а волокон льону збільшує показник фрактальної розмірності нетканих матеріалів. При цьому найвищу однорідність демонструє зразок матеріалу (ПУ/ПА-6,6)/ПЕТФ складу 80/20 мас.%.
8. Встановлено, що додавання до вихідного складу ПУ/ПА-6,6 волокон ПЕТФ погіршує теплозахисні властивості матеріалу. В той же час використання до 50 мас.% природних волокон льону дозволяє одержати нетканий матеріал із достатньо низьким коефіцієнтом теплопровідності та меншою поверхневою щільністю.
9. Розроблений асортимент високоеластичних нетканих матеріалів на основі комбінованих ниток ПУ/ПА-6,6 у комбінації з природними та синтетичними волокнами, як додаткового компонента, пропонується використовувати у якості ізоляційного матеріалу для автомобільної, будівельної, текстильної та взуттєвої промисловостей.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Закон України «Про відходи» (ст. 1 Загальні положення) м. Київ, 5 березня 1998 року N 187/98-ВР.
2. Sparks, E. *Advances in Military Textiles and Personal Equipment*; 2012.
3. Сторожук В. М. *Відходи підприємств. Поводження та документальний супровід*, навч. посіб.; Укр. акад. друкарства: Львів, 2012; с 286.
4. Пахаренко В.А.; Яковлева Р.А. *Переработка полимерных композиционных материалов*, изд. компания «Воля», Киев, 2006; с 552.
5. Муди Г. (Олбэни Интернэшнл Текниув, Инк. (US)). *Теплозащитная система с переменной плотностью волокон*. Патент Российской Федерации 2293718, Янв 09, 2002.
6. Stanescu, M. D.; Fogorasi, M.; Dochia, M.; Mihuta, S.; Lozinsky, V. I. Biotechnology for Textile Waste Valorization. *Rev. Chim.* **2009**, 60 (1), pp 59-62.
7. Кучеренко Є. В., Будащ Ю. О., Плаван В. П., Литвинова О. І. Одержання та властивості нетканих матеріалів із волокнистих відходів. *Вісник КНУТД. Технічні науки*. 2016, 4 (100), с. 99-106.
8. El Wazna, M.; El Fatihi, M.; El Bouari, A.; Cherkaoui, O. Thermo Physical Characterization of Sustainable Insulation Materials Made from Textile Waste. *J. Build. Eng.* **2017**.
9. Hawley, J. M. Textile Recycling: A System Perspective. In *Recycling in Textiles: A Volume in Woodhead Publishing Series in Textiles*; Elsevier Ltd, 2006; pp 7–24.
10. Jedrzejewski, W. Symbols for the Classification of Nonwoven Geotextiles. **1989**.
11. ISO - ISO 9092: 2019 - Nonwoven. Vocabulary.
12. Russell, S. J. *Handbook of Nonwovens*; Elsevier Inc., 2006.
13. Das, D.; Pradhan, A. K.; Chattopadhyay, R.; Singh, S. N. Composite Nonwovens. *Text. Prog.* **2012**, 44 (1), 1–84.
14. Chapman, R. A. *Applications of Nonwovens in Technical Textiles*; Elsevier Ltd, 2010.
15. Hu, J. *Structure and Mechanics of Woven Fabrics*; Elsevier Ltd, 2004.
16. Watzl, A. Latex-Free Tufting Carpets: New Process for Bonding of Carpet Backings. *Melliand Int.* **2003**, 9 (3), 274–275.

17. Acar, M.; Harper, J. F. Hydroentangled Nonwoven Fabrics for Industrial Applications and Composites. In *Proceedings of the 80th World Conference of the Textile Institute, Manchester, April 16 - 19, 2000*; Textile Institute, 2000; pp. 1.
18. Fages, E.; Gironés, S.; Sánchez-Nacher, L.; García-Sanoguera, D.; Balart, R. Use of Wet-Laid Techniques to Form Flax-Polypropylene Nonwovens as Base Substrates for Eco-Friendly Composites by Using Hot-Press Molding. *Polym. Compos.* **2012**, *33* (2), pp 253–261.
19. Geus, H. G. Developments in Manufacturing Techniques for Technical Nonwovens. In *Advances in Technical Nonwovens*; Elsevier Inc., 2016; pp 133–153.
20. El Messiry, M.; El-Tarfawy, S. Mechanical Properties and Buckling Analysis of Woven Fabric. *Text. Res. J.* **2019**, *89* (14), pp 2900–2918.
21. Postle, R. Structural Mechanics of Knitted Fabrics for Apparel and Composite Materials. *J. Text. Inst.* **2001**, *92* (3), pp 80–90.
22. Gopalakrishnan, D.; Aravindhana, K. A. Spunbonded Nonwovens - An Overview. *Man-Made Textiles in India*. April 2006, pp 137–141.
23. Rawal, A.; Majumdar, A.; Anand, S.; Shah, T. Predicting the Properties of Needle-punched Nonwovens Using Artificial Neural Network. *J. Appl. Polym. Sci.* **2009**, *112* (6), 3575–3581.
24. Dedov, A. V. Mechanism of Compression of Needle-Punch Material. *Fibre Chem.* **2009**, *41* (6), pp 369–371.
25. Dedov, A. V. Permeability of Deformed Needle-Punch Material. *Fibre Chem.* **2009**, *41* (4), pp 240–242.
26. Dedov, A. V.; Evdokimov, A. G.; Nazarov, V. G. Air Permeability of Processed Nonwoven Needle-punched Material of Complex Composition. *Fibre Chem.* **2018**, *50* (2), pp 91–95.
27. Li, T. T.; Lou, C. W.; Huang, C. H.; Huang, C. L.; Lin, J. H. Thermoplastic Polyurethanes/Polyester/Polypropylene Composites: Effect of Thermoplastic Polyurethanes Honeycomb Structure on Acoustic-Absorbing and Cushioning Property. *J. Ind. Text.* **2016**, *46* (2), pp 578–595.

28. Gnaba, I.; Wang, P.; Soulat, D.; Omrani, F.; Ferreira, M.; Vroman, P. Investigation about the Effect of Manufacturing Parameters on the Mechanical Behaviour of Natural Fibre Nonwovens Reinforced Thermoplastic Composites. *Materials (Basel)*. **2019**, *12* (16).
29. Shalaby, S. E.; Saad, M. M.; Balakocy, N. G.; Ibrahim, Y. H. Establishment of Technological Package for Production of Antimicrobial PET and PA Nonwoven Fabrics on Pilot Scale. *Int. J. Eng. Res. Technol.* **2018**, *11* (6), 867–880.
30. Karthik, T.; Rathinamoorthy, R.; Praba Karan, C. *Nonwovens: Process, Structure, Properties and Applications*; Woodhead Publishing India, 2017.
31. Pourdeyhimi, B.; Mazé, B.; Tafreshi, H. V. Simulation and Analysis of Unbonded Nonwoven Fibrous Structures. *J. Eng. Fiber. Fabr.* **2006**, *1* (2), 155892500600100.
32. Matusiak, M. Investigation of the Thermal Insulation Properties of Multilayer Textiles. In *Fibres and Textiles in Eastern Europe*; 2006; Vol. 14, pp 98–102.
33. Zhao, R.; Guo, H.; Yi, X.; Gao, W.; Zhang, H.; Bai, Y.; Wang, T. Research on Thermal Insulation Properties of Plant Fiber Composite Building Material: A Review. *International Journal of Thermophysics*. Springer June 1, 2020.
34. Bao, L.; Wang, Y.; Baba, T.; Fukuda, Y.; Wakatsuki, K.; Morikawa, H. Development of a High-Density Nonwoven Structure to Improve the Stab Resistance of Protective Clothing Material. *Ind. Health.* **2017**, *55* (6), 513–520.
35. Nonwoven Fabrics for Apparel and Home Textiles: Profiles of Four Key Players. *Text. Outlook Int.* **2017**, *2017* (184), 36–58.
36. Aizenshtein, E. M. Manufacture of Nonwovens Abroad. *Fibre Chem.* **2003**, *35* (2), 87–97.
37. Plekhanov, A. F.; Bitus, E. I.; Pershukova, S. A.; Vinogradova, N. A. The Study of Textile Technologies for the Production Nonwoven Materials for Medical Purposes. *Izv. Vyss. Uchebnykh Zaved. Seriya Teknol. Tekst. Promyshlennosti* **2017**, *370* (4), 161–168.
38. Mariana, R. Nanotechnology in Textile Industry [Review]. *Ann. Univ. Orade Fascicle Text. Lea Therwork* **2017**, *100* (May), 83–88.

- 39.Будаш Ю. О., Кучеренко Є.В., Плаван В.П., Создана В.О. Вплив процесу механічної переробки природних волокон на їх розмірні характеристики. *Вісник ХНУ. Технічні науки*. 2018, 6 (267), с. 115-120.
- 40.Thilagavathi, G.; Pradeep, E.; Kannaian, T.; Sasikala, L. Development of Natural Fiber Nonwovens for Application as Car Interiors for Noise Control. *J. Ind. Text.* **2010**, 39 (3), 267–278.
- 41.Слізков М. А.; Щербань В.Ю.; Кизимчук О.П. *Механічна технологія текстильних матеріалів*. 2-га част.; КНУТД: Київ, 2018; с 276.
- 42.Kellie, G. *Advances in Technical Nonwovens*; Elsevier Inc., 2016.
- 43.Das, D.; Pradhan, A. K.; Chattopadhyay, R.; Singh, S. N. Composite Nonwovens. *Text. Prog.* **2012**, 44 (1), 1–84.
- 44.Santhanam, S.; Bharani, M.; Temesgen, S.; Atalie, D.; Ashagre, G. Recycling of Cotton and Polyester Fibers to Produce Nonwoven Fabric for Functional Sound Absorption Material. *J. Nat. Fibers* **2019**, 16 (2), 300–306.
- 45.Zhang, S.; Horrocks, R. Substantive Intumescent Flame Retardants for Functional Fibrous Polymers. In *Journal of Materials Science*; 2003; Vol. 38, pp 2195–2198.
- 46.Das, D.; Pourdeyhimi, B. *Composite Non-Woven Materials: Structure, Properties and Applications*; Elsevier Inc., 2014.
- 47.Bernava, A.; Reihmane, S.; Merijs-Meri, R. The Manufacture and Properties of Nonwoven Composites from Fibres Mix. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*; Institute of Physics Publishing, 2019; Vol. 500.
- 48.Bernava, A.; Reihmane, S. Properties of Pre-Modified Linen Fabric Dyed with Reactive Dyes. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*; Institute of Physics Publishing, 2019; Vol. 500.
- 49.Chapman, R. A. *Applications of Nonwovens in Technical Textiles*; Elsevier Ltd, 2010.
- 50.Кучеренко Є.В., Будаш Ю.О., Плаван В.П., Фещенко Я.В., Верейко О.І. Порівняльний аналіз розмірних характеристик недеревних волокон різної природи. *Вісник КНУТД. Технічні науки*. 2018, 1 (118), с. 43-50.
- 51.Bitz, K. On Cue with Quality Control. *Nonwovens Ind.* **2001**, 32 (2), 46–50.

52. Pourdeyhimi, B.; Maze, B.; Farukh, F.; Silberschmidt, V. V. Nonwovens-Structure-Process-Property Relationships. In *Structure and Mechanics of Textile Fibre Assemblies*; Elsevier, 2019; pp 109–143.
53. Nishizakura, K. Surface Structure and Characteristics of Synthetic Fibers. *Sen'i Gakkaishi* **1990**, *46* (1), 28–32.
54. Rajak, D. K.; Pagar, D. D.; Menezes, P. L.; Linul, E. Fiber-Reinforced Polymer Composites: Manufacturing, Properties, and Applications. *Polymers*. MDPI AG October 1, 2019.
55. Bunsell, A. R. Introduction to the Science of Fibers. In *Handbook of Properties of Textile and Technical Fibres*; Elsevier, 2018; pp 1–20.
56. Oner, E. Mechanical and Thermal Properties of Knitted Fabrics Produced from Various Fiber Types. *Fibers Polym.* **2019**, *20* (11), 2416–2425.
57. Пушкар Г. О.; Семак Б. Д. Сучасний асортимент і властивості нетканих текстильних матеріалів інтер'єрного призначення. *Вісник Львівської комерційної академії*. **2011**, *12*, с 15-21.
58. Sparks, E. *Advances in Military Textiles and Personal Equipment*; 2012.
59. Muthukumar, N.; Thilagavathi, G.; Neelakrishnan, S.; Poovaragan, P. T. Sound and Thermal Insulation Properties of Flax/Low Melt PET Needle Punched Nonwovens. *J. Nat. Fibers* **2019**, *16* (2), 245–252.
60. Chen, W.; Clauser, J.; Thiebes, A. L.; McGrath, D. J.; McHugh, P. E.; Steinseifer, U.; Jockenhoevel, S.; Hennink, W. E.; Kok, R. J. Selection and Fabrication of a Non-Woven Polycarbonate Urethane Cover for a Tissue Engineered Airway Stent. *Int. J. Pharm.* **2016**, *514* (1), pp 255–262.
61. Мэтьюз Ф.; Ролингс Р. *Композитные материалы. Механика и технология*. Техносфера: Москва, 2004; с 408.
62. Lee, K. H.; Kim, H. Y.; Ryu, Y. J.; Kim, K. W.; Choi, S. W. Mechanical Behavior of Electrospun Fiber Mats of Poly (Vinyl Chloride) / Polyurethane Polyblends. *J. Polym. Sci. Part B Polym. Phys.* **2003**, *41* (11), pp 1256–1262.
63. Mao, N. Methods for Characterisation of Nonwoven Structure, Property, and Performance. In *Advances in Technical Nonwovens*; Elsevier Inc., 2016; pp 155–211.

64. Wechsberg, H. E. *Test Methods for Nonwovens*; 1981.
65. Çinçik, E.; Koç, E. The Effect of Blend Ratio and Process Parameters on Tensile Properties of Polyester/Viscose Blended Needle-Punched Nonwovens. *Fibers Polym.* **2013**, *14* (6), 1040–1049.
66. Roy, R.; Ishtiaque, S. M. Effect of Fibre Orientation on Mechanical and Functional Properties of Needle-Punched Nonwoven. *Indian J. Fibre Text. Res.* **2019**, *44* (3), pp 321–328.
67. Gnanauthayan, G.; Rengasamy, R. S.; Kothari, V. K. Heat Insulation Characteristics of High Bulk Nonwovens. *J. Text. Inst.* **2017**, *108* (12), 2173–2179.
68. Gnanauthayan, G.; Rengasamy, R. S.; Kothari, V. Heat Insulation Characteristics of Multi-Layer Nonwovens. *Res. J. Text. Appar.* **2018**, *22* (2), pp 94–108.
69. Rawal, A.; Saraswat, H. Pore Size Distribution of Hybrid Nonwoven Geotextiles. *Geotext. Geomembranes* **2011**, *29* (3), 363–367.
70. Lin, J. H.; Li, T. T.; Lin, C. C.; Hsing, W. H.; Tan, H. J.; Lou, C. W. Property Evaluation of PP/PET Composite Nonwoven Compounding with Different Width of PP Nonwoven Selvages. In *2014 the 4th International Workshop on Computer Science and Engineering-Winter, WCSE 2014*; Science and Engineering Institute, 2014.
71. Bunsell, A. R.; Joannès, S.; Marcellan, A. Testing and Characterization of Fibers. In *Handbook of Properties of Textile and Technical Fibres*; Elsevier, 2018; pp 21–55.
72. Patel, P. C.; Kothari, V. K. Relationship between Tensile Properties of Fibres and Nonwoven Fabrics. *Indian J. Fibre Text. Res.* **2001**, *26* (4), 398–402.
73. Rawal, A.; Priyadarshi, A.; Lomov, S. V.; Verpoest, I.; Vankerrebrouck, J. Tensile Behaviour of Thermally Bonded Nonwoven Structures: Model Description. *J. Mater. Sci.* **2010**, *45* (9), 2274–2284.
74. Zhuo, H.; Hu, J.; Chen, S. Study of Water Vapor Permeability of Shape Memory Polyurethane Nanofibrous Nonwovens. *Text. Res. J.* **2011**, *81* (9), pp 883–891.
75. Patanaik, A.; Anandjiwala, R. Some Studies on Water Permeability of Nonwoven Fabrics. *Textile Research Journal.* **2009**, *79* (2), p 480.



76. Berkalp, O. B. Air Permeability & Porosity in Spun-Laced Fabrics. *Fibres Text. East. Eur.* **2006**, *14* (3), 81–85.
77. Matusiak, M.; Kowalczyk, S. Thermal-Insulation Properties of Multilayer Textile Packages. *Autex Res. J.* **2014**, *14* (4), pp 299–307.
78. Chapman, R. A. *Applications of Nonwovens in Technical Textiles*; Elsevier Ltd, 2010.
79. Abdel-Rehim, Z. S.; Saad, M. M.; El-Shakankery, M.; Hanafy, I. Textile Fabrics as Thermal Insulators. *Autex Res. J.* **2006**.
80. Peng, Y.; Cui, Y. Advanced Textiles for Personal Thermal Management and Energy. *Joule*. Cell Press April 15, 2020, pp 724–742.
81. Шустов Ю.С. *Основы текстильного материаловедения*. МГТУ им. А.Н. Косыгина; Москва, 2007; с 302.
82. Islam, S.; Bhat, G. Environmentally Friendly Thermal and Acoustic Insulation Materials from Recycled Textiles. *Journal of Environmental Management*. Academic Press December 1, 2019.
83. Du, M. Z.; Tian, M. W.; Qu, L. J.; Zhu, S. F.; Chen, G. H.; Han, G. T. Numerical Modeling of Transient Heat Transfer in Microsystem of Protective Clothing. *Therm. Sci.* **2016**, *20* (3), 945–948.
84. Жихарев А.П.; Петропавловский Д.Г.; Кузин С.К.; Мишаков В.Ю. *Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности*, учебник для студ. высш. учеб. заведений; Издательский центр “Академия”: Москва, 2004; с 448.
85. Aizenshtein, E. M. Global and Domestic Production and Consumption of Nonwovens. *Fibre Chem.* **2018**, *49* (6), pp 372–381.
86. Ajmeri, J. R.; Ajmeri, C. J. Developments in the Use of Nonwovens for Disposable Hygiene Products. In *Advances in Technical Nonwovens*; Elsevier Inc., 2016; pp 473–496.
87. Reil, S. Finishing Treatment for Hygienic Nonwovens. *Int. Fiber J.* **2008**, *23* (6), 28–29.

88. Hong, K. H.; Kim, S. C.; Kang, T. J.; Oh, K. W. Effect of Abrasion and Absorbed Water on the Handle of Nonwovens for Disposable Diapers. *Text. Res. J.* **2005**, 75 (7), 544–550.
89. Opportunities for Growth in Nonwoven Fabric Production in the Middle East and North Africa. *Text. Outlook Int.* **2016**, 2016 (182), 9–25.
90. Holliday, T. Comparing Nonwoven Processes. *Nonwovens Ind.* **2001**, 32 (4), 24–26.
91. Walczak, R.; Neumann, P. Improving the Quality of Nonwoven Materials Manufacturing Based on Analysis of Its Water Permeability. *Found. Manag.* **2016**, 8 (1), 35–42.
92. Ghosh, S. Composite Nonwovens in Medical Applications. In *Composite Non-Woven Materials: Structure, Properties and Applications*; Elsevier Inc., 2014; pp 211–224.
93. Gopalakrishnan, D.; Aravindhan, K. A. Nonwovens for Medical Textiles. *Asian Text. J.* **2005**, 14 (4), 36–41.
94. *Composite Non-Woven Materials*; Elsevier, 2014.
95. Wilson, A. Protective Clothing—a High Growth Market for Nonwovens. *Tech. Text. Int.* **2009**, 18 (5), 11–14.
96. Chemical Protective Clothing: Providing a Life-Critical Barrier. *Perform. Appar. Mark.* **2012**, No. 42, 24–48.
97. Menzelintseva, N. V.; Karapuzova, N. Y.; Ermilova, N. Y.; Fomina, E. O. New Nonwoven Filtering Materials. *Izv. Vyss. Uchebnykh Zaved. Seriya Teknol. Tekst. Promyshlennosti* **2018**, 2018-January (3), 122–125.
98. Koerner, R. M.; Hsuan, Y. G.; Koerner, G. R. Lifetime Predictions of Exposed Geotextiles and Geomembranes. *Geosynth. Int.* **2017**, 24 (2), 198–212.
99. Ajmeri, J. R.; Ajmeri, C. J. Developments in Nonwoven as Geotextiles. In *Advances in Technical Nonwovens*; Elsevier Inc., 2016; pp 339–363.
100. Jiang, R.; Qian, J. Nonwovens Emerge as Textile of Choice for Construction Sector. *China Text. Appar.* **2017**, 35 (1), 34–37.
101. Janssen, B. Publication Analysis of the Use of Nonwovens in Landscaping, Building and Road Construction. *J. Text. Apparel, Technol. Manag.* **2016**, 10 (2).

102. Kalebek, N. A. Sound Absorbing Polyester Recycled Nonwovens for the Automotive Industry. *Fibres Text. East. Eur.* **2016**, 24 (1), 107–113.
103. Adams, W. The Rise of Japanese Textile Suppliers to the US Automotive Industry. *Text. Outlook Int.* **2007**, No. 131, 175–192.
104. Görgün, T. Nonwovens for Automotive Industry. In *edana 2006 International Nonwovens Symposium*; 2006; Vol. 2006, pp 82–122.
105. Seile, A.; Beļakova, D. Nonwoven Development by the Multilayer Structure. In *Vide. Tehnologija. Resursi - Environment, Technology, Resources*; Rezekne Higher Education Institution, 2017; Vol. 3, pp 292–297.
106. Кучеренко Є.В., Будащ Ю.О., Плаван В.П., Литвинова О.І. Регулювання фізико-механічних властивостей нетканих матеріалів на основі волокнистих відходів. *Вісник КНУТД. Технічні науки.* 2017, 4 (112), с. 142-147.
107. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2017. ГОСТ 9394-76 Волокно льняное короткое. *Технические условия.* Москва: ГОСТ 9394-76.
108. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1976. ГОСТ 10379-76 Пенька трепаная. *Технические условия.* Москва.
109. International Standards Office, 2004. ISO 22157-1:2004 *Bamboo – Determination of physical and mechanical properties.* USA: ISO.
110. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1985. ГОСТ 16338-85 Полиэтилен низкого давления. *Технические условия.* Москва.
111. Mertz, J. *Introduction to Optical Microscopy*; Cambridge University Press, 2019.
112. *Optical Imaging and Microscopy*; Springer Berlin Heidelberg, 2007.
113. Grubb, D. T. Optical Microscopy. In *Polymer Science: A Comprehensive Reference, 10 Volume Set*; Elsevier, 2012; Vol. 2, pp 465–478.
114. Мортон В. Е.; Херл Д. В. *Механічні властивості текстильних волокон.* Легка індустрія: Москва, 1971; с 181.

115. Кукін Р. Н.; Солов'їв А. Н.; Кобляков А. И. *Текстильне матеріалознавство (волокна і нитки)*, підручник для вузів; Легпромбิตвидав: Москва, 1989; с 352.
116. Кукін Р. Н.; Солов'їв А. Н.; Кобляков А. И. *Лабораторний практикум по текстильному матеріалознавству*, навч. посібник для вузів; Легпромбิตвидав: Москва, 1986; с 344.
117. Держспоживстандарт України, 2018. ДСТУ 13648.1-78. *Картон. Метод визначення деформації при стисканні*. Держспоживстандарт України.
118. Держспоживстандарт України, 2009. ДСТУ 17229:2009. *Шкіра. Фізичні та механічні випробування. Визначення поглинання водяної пари*. Держспоживстандарт України.
119. Платунов, Е.С. *Теплофизические измерения в монотонном режиме*; Энергия: Ленинград, 1973; с 54.
120. Wazna, M. E. L.; Gounni, A.; Bouari, A. E. L.; Alami, M. E. L.; Cherkaoui, O. Development, Characterization and Thermal Performance of Insulating Nonwoven Fabrics Made from Textile Waste. *J. Ind. Text.* **2019**, 48 (7), 1167–1183.
121. Budash Yu., Kucherenko Ye., Plavan V. The evolution of the microstructure of cane cellulose microfibrils during cold caustic extraction. *Fibres and Textiles*, 2018, 4, с.8-12.
122. Будащ Ю. О., Кучеренко Є. В., Матрофайло М. М., Плаван В. П. Отримання екобезпечних мікрофібрилярних наповнювачів з недеревної сировини. *Вісник КНУТД. Технічні науки*. 2016, 5 (102), с. 134-140.
123. Moghadam, A.; Yousefi, S. H.; Tafreshi, H. V.; Pourdeyhimi, B. Characterizing Nonwoven Materials via Realistic Microstructural Modeling. *Sep. Purif. Technol.* **2019**, 211, 602–609.
124. Chen, K.; Ghosal, A.; Yarin, A. L.; Pourdeyhimi, B. Modeling of Spunbond Formation Process of Polymer Nonwovens. *Polymer (Guildf)*. **2020**, 187.
125. Lou, C. W.; Hu, J. J.; Huang, C. C.; Lu, C. T.; Hsieh, C. T.; Lin, J. H. Preparation and Characterization of Polyester Fibers/Absorbent Cotton Composite

- Dressing Matrix Fabrics. In *Advanced Materials Research*; 2011; Vol. 287–290, pp 2721–2724.
126. Ren, G.; Sha, Q.; Fu, J. Sorption Behavior of Polypropylene Nonwovens Treated with Gas Plasma. In “*New Century, New Materials and New Life*” - *Proceedings of 2005 International Conference on Advanced Fibers and Polymer Materials, ICAFP 2005*; China Press, 2005; Vol. 2, pp 1162–1166.
127. Кузьміна Т.О. Якість і стандартизація модифікованих лляних волокон б монографія / Т.О.Кузьміна, Л.А. Чурсіна, Г. А. Тіхосова. – Херсон: Олді-плюс, 2009. – 415 с.
128. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31-2006: затв. Міністерством будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства 09.09.2006: на заміну СНиП II-3-79: чинні від 01.01 2007. – К. : Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства, 2006. – 70 с.
129. Кучеренко Є.В., Плаван В.П., Будащ Ю. О., Романюк О.О. Аналіз теплофізичних властивостей волокнистих нетканих матеріалів різного складу. *Вісник КНУТД. Технічні науки*. 2019, 3 (134), с. 94-101.

ЗАТВЕРДЖУЮ



Проректор з наукової та інноваційної діяльності Київського національного університету технологій та дизайну  
проф. О.М. Ганущак-Єфіменко  
"\_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2020 р.

## АКТ

впровадження у навчальний процес  
результатів магістерських наукових робіт студентів

Даний акт складено про те, що результати дисертаційної роботи Кучеренко Єлизавети Володимирівни на тему «Розробка технології одержання високоеластичних матеріалів із вторинної сировини» впроваджені в освітню діяльність, зокрема одержані і використані при підготовці дипломних робіт магістрів:

1. Варава Т.І. «Одержання та дослідження нетканих волокнистих матеріалів з регульованими властивостями», 2017 (науковий керівник д.т.н. доц. Будаш Ю.О.);
2. Форостовець М.Ю. «Отримання та структура екобезпечних волокнистих матеріалів з відновлювальної сировини», 2017 (науковий керівник д.т.н. доц. Будаш Ю.О.);
3. Шевцова Д. Л. «Розробка та дослідження хімічних волокон та нетканих матеріалів з сорбційними властивостями», 2018 (науковий керівник д.т.н. проф. Плаван В.П.);
4. Верейко О.І. «Розробка та дослідження нетканих матеріалів з поліпшеними еластичними властивостями», 2018 (науковий керівник д.т.н. доц. Будаш Ю.О.);
5. Фещенко Я.В. «Розробка та дослідження волокнистих матеріалів, що вміщують поліолефінові волокна», 2018 (науковий керівник д.т.н. доц. Будаш Ю.О.);
6. Пушкаренко К.В. «Одержання та дослідження волокнистих матеріалів, що вміщують природні волокна», 2019 (науковий керівник д.т.н. доц. Будаш Ю.О.)

Зав. кафедри прикладної екології,  
технології полімерів і хімічних волокон,  
д.т.н., проф.

В.П. Плаван



УКРАЇНА

г. 3687

Пост. 15.08.17



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 117285

СПОСІБ ОЦІНКИ ТЕКСТУРНОЇ НЕОДНОРІДНОСТІ  
КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 26.06.2017.

Директор департаменту інтелектуальної  
власності Міністерства економічного  
розвитку і торгівлі України

*В.О. Жалдак*  
В.О. Жалдак





(11) **117285**(19) **UA**(51) МПК  
G01N 21/27 (2006.01)  
G06T 7/40 (2017.01)

(21) Номер заявки: **u 2016 13179**

(22) Дата подання заявки: **23.12.2016**

(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **26.06.2017**

(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: **26.06.2017, Бюл. № 12**

(72) Винахідники:  
**Будаш Юрій Олександрович, UA,**  
**Кучеренко Єлизавета Володимирівна, UA,**  
**Плаван Вікторія Петрівна, UA**

(73) Власник:  
**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ,**  
вул. Немировича-Данченка, 2,  
м. Київ-11, 01601, UA

(54) Назва корисної моделі:

**СПОСІБ ОЦІНКИ ТЕКСТУРНОЇ НЕОДНОРІДНОСТІ КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ**

(57) Формула корисної моделі:

Спосіб оцінки текстурної неоднорідності композиційного матеріалу, що включає отримання цифрового зображення його поверхні, перетворення зображення в напівтонове, отримання текстурних характеристик матеріалу та визначення його текстурної неоднорідності, який відрізняється тим, що отримання текстурних характеристик матеріалу здійснюють шляхом перетворення вихідного напівтонового зображення алгоритмом дифузії похибок в бінарне, в якому локальна щільність бінарних пікселів відповідає значенню інтенсивності вихідного напівтонового зображення, з подальшим програмним розбиттям бінарного зображення на кластери, площа яких мінімум у 4 рази менше загальної площі зображення з одночасним підрахунком долі пікселів певного (0 або 1) значення у кожному кластері, а текстурну неоднорідність ( $K_n$ ) композиційного матеріалу визначають за формулою:

$$K_n = S/p * 100 \%$$

де S - середньоквадратичне відхилення долі пікселів певного (0 або 1) значення в окремих кластерах зображення суміші від їх середнього значення; p - середнє значення частки пікселів того ж значення на зображенні композиційного матеріалу в цілому.



9.3687



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **117285** (13) **U**

(51) МПК

**G01N 21/27** (2006.01)**G06T 7/40** (2017.01)

МІНІСТЕРСТВО  
ЕКОНОМІЧНОГО  
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ  
УКРАЇНИ

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

(21) Номер заявки: <b>u 2016 13179</b>	(72) Винахідник(и): <b>Будаш Юрій Олександрович (UA), Кучеренко Єлизавета Володимирівна (UA), Плаван Вікторія Петрівна (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>23.12.2016</b>	(73) Власник(и): <b>КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ, вул. Немировича-Данченка, 2, м. Київ-11, 01601 (UA)</b>
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>26.06.2017</b>	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>26.06.2017, Бюл.№ 12</b>	

**(54) СПОСІБ ОЦІНКИ ТЕКСТУРНОЇ НЕОДНОРІДНОСТІ КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ****(57) Реферат:**

Спосіб оцінки текстурної неоднорідності композиційного матеріалу включає отримання цифрового зображення його поверхні, перетворення зображення в напівтонове, отримання текстурних характеристик матеріалу та визначення його текстурної неоднорідності. Отримання текстурних характеристик матеріалу здійснюють шляхом перетворення вихідного напівтонового зображення алгоритмом дифузії похибок в бінарне, в якому локальна щільність бінарних пікселів відповідає значенню інтенсивності вихідного напівтонового зображення, з подальшим програмним розбиттям бінарного зображення на кластери, площа яких мінімум у 4 рази менше загальної площі зображення з одночасним підрахунком частки пікселів певного (0 або 1) значення у кожному кластері.

UA 117285 U

Корисна модель належить до галузі хімічної промисловості, а саме до способів оцінки текстурної неоднорідності композиційних матеріалів, і може бути використана в легкій, харчовій, будівельній та ряду інших галузей промисловості для оптимізації та корегування змішувальних процесів, контролю якості композиційних матеріалів.

5 У процесі отримання різних полімерних композиційних матеріалів вельми важливим є питання забезпечення необхідного рівня рівномірності змішування компонентів. Оцінка рівномірності розподілу компонентів є важливим завданням, яке покликано оптимізувати час і умови проведення процесу змішування. Особливо актуальним це є для анізотропних форм композиційних матеріалів (плівки, листи, волокна), де коливання складу можуть призвести до

10 суттєвої неоднорідності їх оптичних і механічних властивостей. При аналізі рівномірності розподілу компонентів в полімерних композиціях потрібно розрізнити, як мінімум, два рівня їх неоднорідності. Перш за все, це мікронеоднорідність, пов'язана з розподілом окремих частинок наповнювача на відносно невеликих ділянках, порівнянних з розміром частинок. Для оцінки такої дискретної неоднорідності необхідно

15 визначити рівномірність розподілу в полімері частинок шляхом ідентифікації їх кордонів і взаємного розташування. Інший рівень - це макронеоднорідність композиції, пов'язана з розподілом компонентів на ділянці, порівнянному з розмірами виробу. Таким чином, масштабом оцінки макронеоднорідності є розмір об'єкта, системи або зразка. Для визначення макронеоднорідності можуть бути використані різні методи, що дозволяють оцінювати неперервну зміну фізичних характеристик матеріалу в межах розмірів виробу в цілому.

20 Під текстурою розуміють композиційну макронеоднорідність виробу, що містить області, в яких відсутні чіткі межі складових елементів. Текстура проявляється візуально в наявності плям, смуг і прошарків, нерівномірності забарвлення або прозорості композиційного матеріалу. Текстура характеризує просторову організацію елементів композиції в межах деякої ділянки в результаті певного статистичного розподілу інтенсивності або тональності кольору.

25 Текстура має велике значення при отриманні полімерних композиційних матеріалів, оскільки визначає не тільки їх зовнішній вигляд, але і варіабельність фізико-механічних властивостей композицій.

30 Відомий спосіб отримання кількісних текстурних характеристик зображення шляхом визначення характеру зміни градацій тону всередині текстурних елементів [R.M. Haralick. Statistical and structural approaches to texture //Proceedings of the IEEE, 1979. Vol. 67, no. 5, p. 768-804]. Метод заснований на перетворенні зображення в напівтонове (рівні сірого) і побудові матриці суміжності рівня сірого (Gray-Level Co-occurrence Matrix). Матриця являє собою

35 двовимірну гістограму сірих рівнів для пари пікселів, які відокремлені фіксованими просторовими відносинами і апроксимує спільний розподіл ймовірності пари пікселів. В результаті, визначається просторовий розподіл сірих значень, що дозволяє оцінити текстурні характеристики, пов'язані зі статичними обчисленнями другого порядку: ентропію, гомогенність, однорідність, контраст, кореляцію та ін.

40 Необхідність використання складних алгоритмів зменшення детальності та висока обчислювальна складність призводить до того, що спосіб є трудомістким.

Відомий також спосіб оцінки текстурної неоднорідності композиційного матеріалу, що включає отримання цифрового зображення його поверхні, перетворення зображення в напівтонове, отримання текстурних характеристик матеріалу та визначення його текстурної

45 неоднорідності [патент US4617682A, G06T 7/403, 1984 p.]. При цьому зображення матеріалу поділяють на безліч секцій, яскравості кожної із секцій класифікують і зберігають в рівнях сірого. Текстурні характеристики визначають відповідно до заданих критеріїв на основі варіацій рівня сірого, які спостерігаються до і після переміщення вимірювальної маски.

50 Зазначений спосіб має складну багатоступеневу структуру. Велика різноманітність статистичних ознак текстур викликає необхідність попереднього дослідження найбільш інформативних критеріїв в залежності від типу текстури. Спосіб не дозволяє швидко і з високою точністю проводити оцінку текстурної неоднорідності матеріалу.

55 В основу заявленої корисної моделі поставлена задача створення такого способу оцінки текстурної неоднорідності композиційних матеріалів, при якому зміною умов виконання операцій забезпечувалося б зниження трудомісткості, при підвищенні точності оцінки текстурної неоднорідності матеріалу.

60 Поставлена задача вирішується тим, що у способі оцінки текстурної неоднорідності композиційного матеріалу, що включає отримання цифрового зображення його поверхні, перетворення зображення в напівтонове, отримання текстурних характеристик матеріалу та визначення його текстурної неоднорідності, згідно з корисною моделлю, отримання текстурних



характеристик матеріалу здійснюють шляхом перетворення вихідного напівтонового зображення алгоритмом дифузії похибок в бінарне, в якому локальна щільність бінарних пікселів відповідає значенню інтенсивності вихідного напівтонового зображення, з подальшим програмним розбиттям бінарного зображення на кластери, площа яких мінімум у 4 рази менше загальної площі зображення з одночасним підрахунком частки пікселів певного (0 або 1) значення у кожному кластері, а текстурну неоднорідність ( $K_n$ ) композиційного матеріалу визначають за формулою:

$$K_n = S/p * 100 \%,$$

де  $S$  - середньоквадратичне відхилення частки пікселів певного (0 або 1) значення в окремих кластерах зображення суміші від їх середнього значення;

$p$  - середнє значення частки пікселів того ж значення на зображенні композиційного матеріалу в цілому.

Використання перетворення вихідного напівтонового зображення алгоритмом дифузії похибок в бінарне, дозволяє зменшити кількість даних, що аналізуються зі збереженням текстурної інформації та прискорити процес аналізу. Крім того, використання спеціального програмного забезпечення дозволяє спростити процес одержання кількісних характеристик текстури на її окремих ділянках, що забезпечує зниження трудомісткості при підвищенні точності оцінки текстурної неоднорідності.

Спосіб реалізується таким чином.

Отримання цифрового зображення композиційного матеріалу в проникаючому або відбитому світлі шляхом фотографування або сканування його поверхні з необхідним рівнем деталізації.

Модифікація кольорової інформації цифрового зображення шляхом злиття інформації трьох кольорових каналів і переведення зображення в напівтонове (256 відтінків сірого).

Застосування до напівтонового зображення алгоритму дифузії похибок. Він являє собою спосіб порогового розділення напівтонового зображення, коли інтенсивність кольору перетворюється в локальну щільність бінарних пікселів. При цьому можуть бути використані наступні різновиди цього алгоритму (реалізовані в програмі ImageJ): Floyd-Steinberg, Atkinson, Jarvis-Judice-Ninke, Stucki, Bayer\_2x2, Bayer\_4x4, Bayer\_8x8, Clustered\_4x4, Random. Результатом операції є створення бінарного "точкового" зображення, причому щільність розташування точок відповідає значенню інтенсивності вихідного напівтонового зображення в діапазоні значень 0-256. Таке перетворення дозволяє використовувати стандартні процедури кількісного аналізу бінарного зображення, що спрощує отримання, обробку та інтерпретацію даних.

Одержання значень частки пікселів певного (0 або 1) значення в окремих кластерах бінарного зображення. Для цього використовується спеціально розроблена комп'ютерна програма, в яку завантажують попередньо підготовлене бінарне зображення композиційного матеріалу (кнопка "Load Image"), вибирають число кластерів, на яке розбивається зображення (кнопки "Rows", "Columns"), підраховують частку пікселів певного (0 або 1) значення в кожному кластері (кнопка "Calculate"), зберігають результати у вигляді файлу формату txt або xls.

Статистична обробка результатів вимірювання та графічна візуалізація одержаних залежностей виконується за допомогою табличного процесора. При цьому оцінюють текстурну неоднорідність композиційного матеріалу з розрахунком відповідного коефіцієнта.

На фіг. 1 представлено схему реалізації способу, на фіг. 2 збільшений (400 %) фрагмент зображення текстури композиційного матеріалу до (зверху) та після (знизу) використання алгоритму дифузії похибок (Floyd-Steinberg), на фіг. 3 залежність розрахованого коефіцієнта текстурної неоднорідності від складу композиції для плівок ПЕВТ/АС.

Схема реалізації способу включає: 1 - отримання вихідного цифрового зображення композиційного матеріалу; 2 - перетворення зображення в бінарне шляхом використання алгоритму дифузії похибок; 3 - кластерний аналіз зображення за допомогою спеціального програмного забезпечення; 4 - обробка кількісних результатів кластерного аналізу; 5 - визначення текстурних характеристик композиційного матеріалу та побудова їх графічних залежностей від складу композиції.

Для пояснення суті способу на фіг. 1 наведена схема його реалізації, що характеризує виконання окремих кроків для заявленої корисної моделі.

В запропонованому способі для оцінки текстурної неоднорідності композиційного матеріалу використовується процедура перетворення вихідного напівтонового зображення в бінарне, що дозволяє зменшити кількість даних, що аналізуються зі збереженням текстурної інформації. Використовується спеціально розроблене програмне забезпечення, функції якого дозволяють спростити та автоматизувати процес розбиття зображення на кластери та визначення частки

пікселів певного значення у кожному кластері. Результатом є зниження трудомісткості за рахунок спрощення процедури визначення, підвищення швидкості і точності оцінки текстурної неоднорідності композиційного матеріалу порівняно з іншими способами.

Приклад 1.

5 Як вихідні об'єкти досліджень використовували композиційні плівки на основі поліетилену високого тиску (ПЕВТ) марки 15803-020, що вміщували різну (20-50 мас.%) кількість функціонального мінерального наповнювача "Алсил-Н" (АС). Композиційні плівки отримували методом вальцювання на лабораторних змішувальних вальцях фірми "Battaglion" типу MCC/N 150/300.

10 Для оцінки текстурної неоднорідності композиційних плівок використовували запропонований метод.

Залежність коефіцієнта текстурної неоднорідності ( $K_n$ ) наведена на фіг. 3. З наведених даних видно, що найбільше значення  $K_n$  (-17%) спостерігається для композиційних плівок ПЕВТ/АС складу 80/20 мас.%. При збільшенні концентрації АС до 40% текстурна неоднорідність плівки стає менш виражена, а значення  $K_n$  практично лінійно зменшується більш ніж у 2 рази (до 7,8%). При подальшому збільшенні концентрації наповнювача до 50%, значення  $K_n$  композиційних плівок ПЕВТ/АС зростає до 12,5%. Це може бути пов'язано з помітною агрегацією частинок наповнювача в композиційній плівці при такому співвідношенні компонентів.

20

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

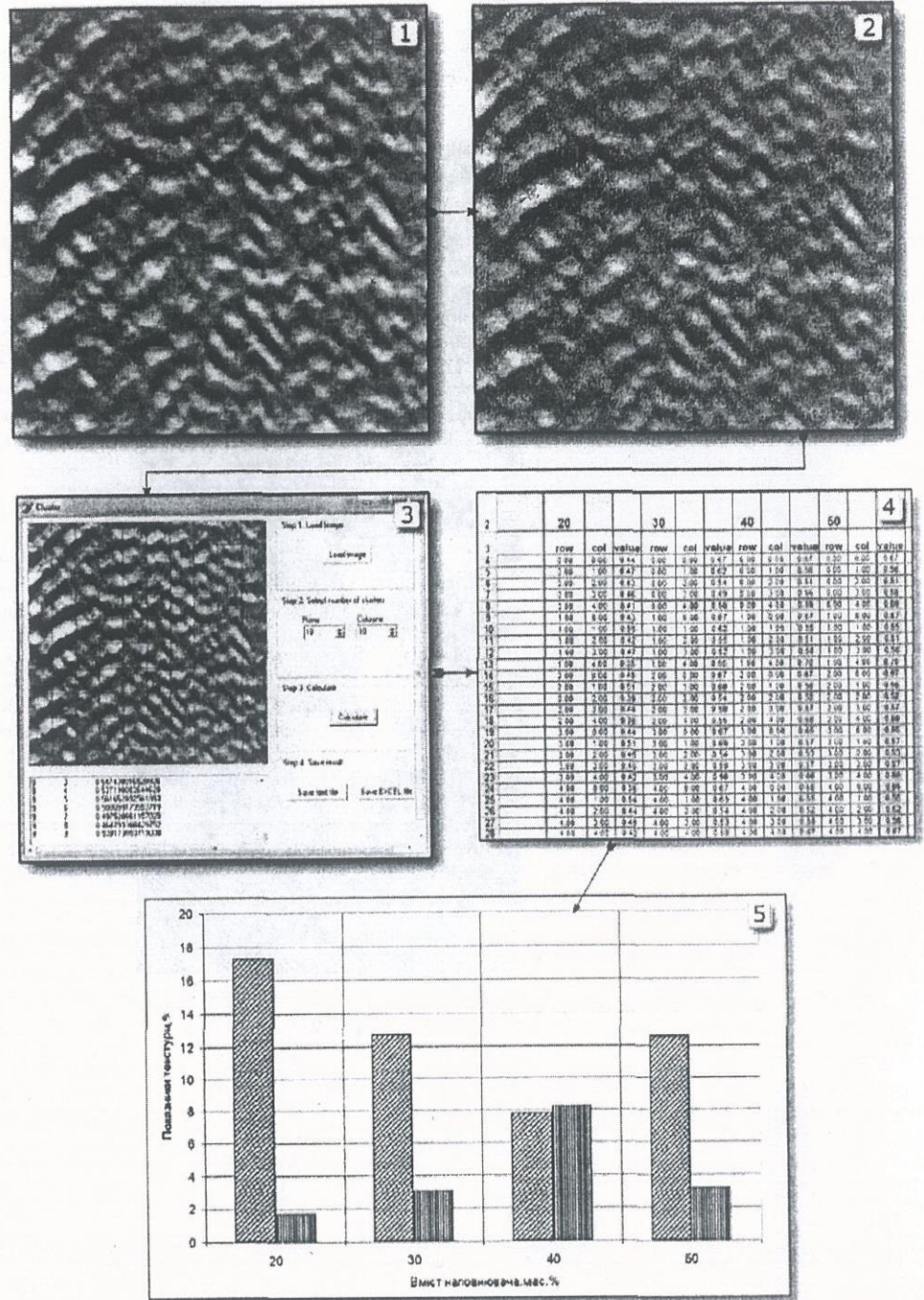
Спосіб оцінки текстурної неоднорідності композиційного матеріалу, що включає отримання цифрового зображення його поверхні, перетворення зображення в напівтонове, отримання текстурних характеристик матеріалу та визначення його текстурної неоднорідності, який відрізняється тим, що отримання текстурних характеристик матеріалу здійснюють шляхом перетворення вихідного напівтонового зображення алгоритмом дифузії похибок в бінарне, в якому локальна щільність бінарних пікселів відповідає значенню інтенсивності вихідного напівтонового зображення, з подальшим програмним розбиттям бінарного зображення на кластери, площа яких мінімум у 4 рази менше загальної площі зображення з одночасним підрахунком долі пікселів певного (0 або 1) значення у кожному кластері, а текстурну неоднорідність ( $K_n$ ) композиційного матеріалу визначають за формулою:

$$K_n = S/p * 100 \%$$

35 де  $S$  - середньоквадратичне відхилення долі пікселів певного (0 або 1) значення в окремих кластерах зображення суміші від їх середнього значення;  $p$  - середнє значення частки пікселів того ж значення на зображенні композиційного матеріалу в цілому.



UA 117285 U



Фиг. 1

UA 117285 U

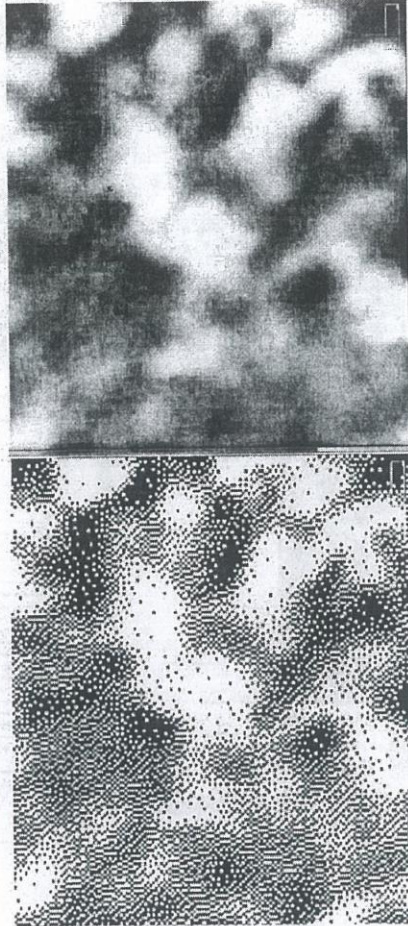
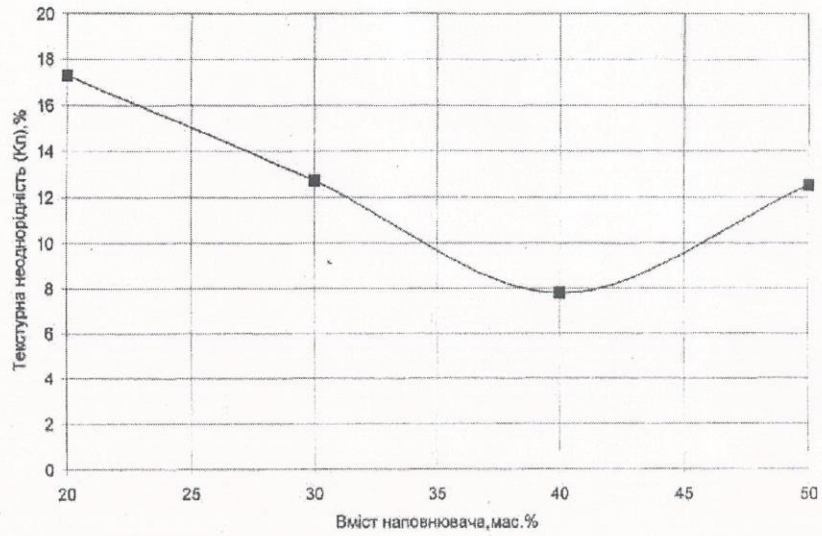


Fig. 2

UA 117285 U



Фіг. 3

---

Комп'ютерна верстка В. Мацело

---

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

---

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601



**ЛІЦЕНЗІЙНИЙ ДОГОВІР № 5-19  
про продаж не виключної ліцензії  
на використання корисної моделі за патентом**

м. Київ

24.01.2019 р.

Київський національний університет технологій та дизайну (КНУТД), що іменується в подальшому "Ліцензіар", в особі в.о. ректора, проректора з науково-педагогічної та міжнародної діяльності Чабана Віталія Васильовича, що діє на підставі Наказу від 06.05.19 р. № 197-к, однієї сторони,

і ПП "Малтекс" що іменується надалі "Ліцензіат", в особі директора Маласая Дмитра Петровича, який діє на підставі Статуту, з іншої сторони, беручи до уваги, що:

1. Ліцензіар є власником патенту № 117285, що стосується корисної моделі на «Спосіб оцінки текстурної неоднорідності композиційного матеріалу» за заявкою № ц 201613179 з пріоритетом від 23.12.2016 р. та володіє "ноу-хау".

2. Ліцензіат бажає одержати на умовах цього Договору ліцензію на використання корисної моделі, на яку отримано патент № 117285, з метою виготовлення, застосування, продажу, пропозиції до продажу та іншого введення в господарський оборот продукту, виготовленого на основі вказаної корисної моделі за патентом № 117285, з датою початку дії від 31.07.2019 р. та знаннями "ноу-хау".

Домовилися про нижче наведене:

**1. Визначення термінів**

Наступні терміни, що використовуються в даному договорі, означають:

1.1. "Патент" — отриманий Ліцензіаром *патент України на корисну модель № 117285*, на «Спосіб оцінки текстурної неоднорідності композиційного матеріалу» за заявкою № ц 201613179 з пріоритетом від 23.12.2016 р.

1.2. "Продукція по ліцензії" - продукція, що буде виготовлятися на основі ліцензії: «Спосіб оцінки текстурної неоднорідності композиційного матеріалу»

1.3. "Ноу-хау" – спеціальні знання, досвід, секрети, які належать до науково-технічних результатів, отриманих Ліцензіаром у процесі створення корисної моделі і які необхідні для виробництва продукції за ліцензією.

1.4. "Конфіденційність" — дотримання заходів щодо запобігання випадкового або навмисного розголошення відомостей, які стосуються патенту і "ноу-хау", третім особам.

1.5. "Звітний період" — період діяльності Ліцензіата по виконанню умов цього Договору поквартально.

1.6. "Територія" — територія України.

1.7. "Зона не виключного права" -- країни, на які не поширюється дія патенту.

1.8. "Платежі нетто" — платежі, при яких усі можливі збори і податки сплачує Ліцензіар, Ліцензіар та Ліцензіат не сплачують ПДВ.

**2. Об'єкт Договору**

Загальні дані про об'єкт техніки (технології), що ліцензується: Спосіб оцінки текстурної неоднорідності композиційного матеріалу призначений для кількісного визначення показника, що характеризує властивості матеріалу. Спосіб включає отримання цифрового зображення поверхні композиційного матеріалу, перетворення зображення в напівтонове, отримання текстурних характеристик матеріалу та визначення його текстурної неоднорідності, при цьому отримання текстурних характеристик матеріалу здійснюють шляхом перетворення вихідного напівтонового зображення алгоритмом



дифузії похибок в бінарне, в якому локальна щільність бінарних пікселів відповідає значенню інтенсивності вихідного напівтонового зображення, з подальшим програмним розбиттям бінарного зображення на кластери, площа яких мінімум у 4 рази менше загальної площі зображення з одночасним підрахунком долі пікселів певного (0 або 1) значення у кожному кластері, а текстурну неоднорідність ( $K_p$ ) композиційного матеріалу визначають за формулою:

$$K_p = S/p * 100\%$$

де  $S$  - середньоквадратичне відхилення долі пікселів певного (0 або 1) значення в окремих кластерах зображення суміші від їх середнього значення;  $p$  - середнє значення долі пікселів на зображенні композиційного матеріалу в цілому.

### 3. Предмет договору

3.1. Ліцензіар надає Ліцензіату на термін дії даного договору і за винагороду, яка сплачується Ліцензіатом, не виключну ліцензію на використання корисної моделі, що охороняється патентом № 117285, що стосується корисної моделі «Спосіб оцінки текстурної неоднорідності композиційного матеріалу» за заявкою № ц 201613179 з пріоритетом від 23.12.2016 р.

При цьому Ліцензіату надається право:

на виготовлення, застосування, продаж, рекламу та інше введення в господарський оборот продукції за ліцензією (зокрема, з використанням, при необхідності, спеціального обладнання, комплектуючих вузлів, деталей і сировини, що застосовуються Ліцензіаром на території).

При цьому Ліцензіар зберігає за собою право самому використовувати вищевказану корисну модель і продавати не виключні ліцензії на "Території" третім особам.

3.2. Ліцензіар передає Ліцензіату необхідну і достатню для використання корисної моделі по п. 3.1 технічну та іншу документацію, здійснює надання технічної та іншої допомоги.

### 4. Технічна документація

4.1. Уся технічна документація, необхідна і достатня для виробництва продукції по ліцензії (Додаток 1), передається Ліцензіаром уповноваженому представнику Ліцензіата в Києві або рекомендованою поштою за адресою: 01011, м. Київ, вул. Немировича Данченка, 2 в 1 примірнику протягом 15 днів із дня вступу в силу даного договору.

4.2. Ліцензіат може розмножити документацію для своїх потреб, але при дотриманні зобов'язань по забезпеченню конфіденційності.

### 5. Удосконалення і поліпшення

5.1. Протягом терміну дії цього договору сторони зобов'язуються негайно інформувати один одного про всі зроблені ними удосконалення і поліпшення, що стосуються патентів, продукції за ліцензією.

5.2. Сторони зобов'язуються в першу чергу пропонувати один одному всі вищезгадані удосконалення і поліпшення. Умови передачі цих удосконалень і покращень будуть погоджуватись сторонами додатково.

Удосконалення і поліпшення, що захищені патентами або по відношенню до яких подано заявки в Державну службу інтелектуальної власності України на отримання патентів, які створюються однією із сторін, вважаються такими, що належать їй.

У разі відмови будь-якої із сторін або неотриманні відповіді на пропозицію, що стосується використання удосконалень і покращень протягом 3-х місяців, сторони мають право пропонувати удосконалення і поліпшення третім особам.

#### **6. Зобов'язання і відповідальність**

6.1. Ліцензіар заявляє, що на момент підписання даного Договору йому нічого не відомо про права третіх осіб, які могли бути порушені наданням даної ліцензії.

6.2. Ліцензіар заявляє про технічну здійсненність виробництва продукції за ліцензією на підприємстві (ах) Ліцензіата і про можливість досягнення показників, що передбачаються даним договором, за умови повного дотримання Ліцензіатом технічних умов і інструкцій Ліцензіара.

#### **7. Платежі**

7.1. За надання прав, що передбачені цим договором, та за технічну документацію та іншу інформацію, що наведена в додатку, Ліцензіат сплачує Ліцензіару одноразову винагороду у відповідності до наступного:

Ліцензіат сплачує одноразову виплату у розмірі 1000 (одна тисяча) гривень, в тому числі 166,67( сто шістдесят шість гривень 67 коп.) ПДВ на розрахунковий рахунок Ліцензіара протягом 30 днів від дати початку дії даного договору.

7.2. Всі виплати по цьому договору розуміються як платежі нетто на користь Ліцензіара.

7.3. Після припинення терміну дії даного договору його положення будуть застосовуватись до тих пір, поки не будуть остаточно врегульовані платежі, зобов'язання по яким виникли в період його дії.

#### **8. Забезпечення конфіденційності**

8.1. Сторони беруть на себе зобов'язання гарантувати збереження конфіденційності отриманих від Ліцензіара технічної документації і інформації, що відносяться до виробництва продукції за ліцензією і спеціальної продукції.

Сторони вживатимуть всі необхідні заходи для того, щоб запобігти повному або частковому розголошенню вказаних відомостей або ознайомлення з ними третіх осіб без взаємної домовленості.

8.2. З переданою документацією, інформацією будуть ознайомлені тільки ті особи з персоналу підприємств Ліцензіата та його партнерів по кооперації, які безпосередньо пов'язані з виробництвом продукції за ліцензією.

8.3. У разі розголошення Ліцензіатом або його партнерами по кооперації відомостей, що містяться у наведеній документації і інформації, Ліцензіат відшкодує Ліцензіару понесені у зв'язку з цим збитки. Таку ж відповідальність несе Ліцензіар.

#### **9. Захист прав, що передаються**

9.1. Протягом всього терміну дії даного договору Ліцензіат визнає і буде визнавати дійсність прав, що впливають з патентів Ліцензіара.

9.2. Ліцензіар зобов'язується підтримувати чинність дії патенту протягом всього терміну дії даного договору.

Якщо Ліцензіар має намір припинити підтримання дії патенту в силі, він завчасно інформує про це Ліцензіата і в цьому випадку врегулює свої відносини, що витікають з даного договору, наступним чином повідомить про свій намір за 30 днів.



9.3. Про випадки протиправного використання третіми особами корисних моделей чи винаходів, які захищені патентами Ліцензіара на території, що стали відомими Ліцензіату, він негайно сповістить Ліцензіара.

У випадку, якщо Ліцензіату будуть пред'явлені претензії або позов з приводу порушення ним прав третіх осіб у зв'язку з використанням ліцензії по цьому договору, Ліцензіат сповістить про це Ліцензіара.

В обох випадках Ліцензіар зобов'язується врегулювати такі претензії або застосувати інші дії, що виключають виникнення витрат і збитків для Ліцензіата.

9.4. У разі, якщо Ліцензіат дійде висновку про доцільність патентування за кордоном винаходів чи корисних моделей Ліцензіара, по яких ще не отримано патенти, він доводить свою думку до відома Ліцензіара. Останній приймає рішення про доцільність правової охорони своїх винаходів чи корисних моделей за кордоном з урахуванням обґрунтування інтересів Ліцензіата.

Всі витрати, що пов'язані з таким патентуванням, розподіляються між сторонами за додатковою угодою.

9.5. У разі, якщо Ліцензіат дійде висновку про доцільність експорту за кордон продукції за ліцензією, він повідомляє про це Ліцензіара.

Порядок і валюта виплат на користь Ліцензіара у цьому випадку будуть погоджені сторонами додатково.

## 10. Реклама

10.1 Ліцензіат має право/зобов'язується вказувати у відповідних рекламних матеріалах, а також на продукції за ліцензією і спеціальній продукції, що випускається на його підприємствах, що ця продукція виробляється за ліцензією Ліцензіара.

## 11. Розв'язання спорів

11.1. У випадку виникнення спорів між Ліцензіаром і Ліцензіатом з питань, що передбачені даним договором, сторони вживають всіх заходів до вирішення їх переговорами між собою.

11.2. У випадку неможливості вирішення вказаних спорів переговорами, вони повинні бути вирішені в Господарському суді України.

## 12. Термін дії договору

12.1. Даний договір набуває чинності з дати підписання сторонами Договору і діє до 23.12.2020 р.

12.2. Кожна зі сторін має право достроково розірвати цей Договір шляхом направлення письмового повідомлення, якщо інша сторона не виконає будь-якої умови цього Договору. Однак стороні, що не виконала свого зобов'язання, буде надано 3 місяці для усунення порушення.

12.3. Якщо цей Договір буде достроково розірваний внаслідок порушення умов Договору Ліцензіатом, то він втрачає право використовувати корисні моделі по п.3.1 у будь-якій формі і зобов'язаний повернути Ліцензіарові всю технічну документацію.

12.4. У випадку визнання патенту недійсним цілком або частково або при достроковому припиненні дії патенту до закінчення терміну дії цього Договору або через невиконання Ліцензіаром своїх зобов'язань цього Договору, сторони врегулюють свої відносини з врахуванням ст.ст. 6 і 9 цього Договору.

12.5. Після закінчення терміну дії цього Договору Ліцензіат має право використовувати корисні моделі по п. 3.1, якщо сторони врегулюють питання щодо продовження дії цього договору за умовами, що зазначені у п.7.1.

При цьому зберігається зобов'язання про конфіденційність.

12.6 Договір може бути розірваний за взаємним погодженням сторін. Умови розірвання цього Договору повинні бути визначені сторонами за 3 місяці до його припинення.

### 13. Інші умови

13.1. Права та обов'язки кожної із сторін за цим договором не можуть бути переуступлені іншому громадянину або юридичній особі без письмового на те дозволу другої сторони, за виключенням випадків, що передбачені даним договором.

13.2. Всі зміни та доповнення до даного договору повинні бути здійснені у письмовій формі і підписані уповноваженими на це особами і ухвалені компетентними органами, якщо таке ухвалення необхідне.

13.3. У всьому іншому, що не передбачено даним договором, будуть застосовуватись норми цивільного і цивільно-процесуального права.

13.4. Цей договір здійснено у м. Києві "24" липня 2019 р. у двох примірниках.

#### Юридичні адреси сторін та банківські реквізити.

Ліцензіар: Київський національний університет технологій та дизайну, 01011, Україна, м. Київ, вул. Немировича-Данченка, 2, МФО 820172, р/р 31251296103551, ЄДРПОУ 02070890 Банк одержувача: УДКСУ у Печерському районі м. Києва, КПК 2201040, тел. 256-21-39

Ліцензіат: м.Київ-01135, вул.Дмитрівська,78; тел.484-42-05, факс 484-42-00, код ЄДРПОУ 23387817, ПІН 233878126597, Свід.№39011021, р/р 26004162853001 в КРУ ПАТ КБ «Приватбанк», МФО 321842

#### Додаток.

Копія опису патенту на корисну модель № 117285 «Спосіб оцінки текстурної неоднорідності композиційного матеріалу».

Від імені Ліцензіара  
в.о. ректора, проректор  
з науково-педагогічної  
та міжнародної  
діяльності КНУТД  
Чабан В.В.

Підпис

Начальник ВПВ

Павленко



Від імені Ліцензіата  
Директор ПП  
«Малтекс»  
Маласай Д.П.

Підпис

Дата

