

## 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) ~ 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 нетканних 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 нетканних 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 нетканних матеріалів різного складу. *Вісник КНУТД. Технічні науки*. 2019, 3 (134), с. 94-101.
8. Пат. 117285, МПК G06Т 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.