

УДК 677.494

КУЧЕРЕНКО Є. В., ПЛАВАН В. П., БУДАШ Ю. О.,  
РОМАНЮК О. О.

Київський національний університет технологій та дизайну

### АНАЛІЗ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВОЛОКНИСТИХ НЕТКАНИХ МАТЕРІАЛІВ РІЗНОГО СКЛАДУ

**Мета.** Визначення теплофізичних властивостей нетканих матеріалів на основі еластичних волокнистих відходів призначених для подальшого використання у складі біометричних пакетів речового майна військовослужбовців.

**Методика.** В роботі були досліджені чотири види нетканих матеріалів, виготовлених на основі еластичних волокнистих відходів текстильної промисловості. Для формування волокнистого полотна використовували чесальну машину марки ЧБВ. Отримані полотна скріплювали за рахунок операції голкопробивання на машині ВП-1. Теплопровідність визначали за допомогою методу динамічної калориметрії на вимірювачі теплопровідності типу IT-λ-400. Для забезпечення необхідної достовірності одержаних результатів здійснювалася обробка даних із використанням методу математичної статистики в програмі Microsoft Excel.

**Результати.** Показано, 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 та коноплі дозволяє одержати нетканий матеріал із достатньо низьким коефіцієнтом теплопровідності (0,15-0,16 Вт/(м·К)) за меншої, в порівнянні з вихідним зразком, поверхневої щільності. При цьому їх питома масова ізобарна теплоємність практично не залежить від поверхневої щільності.

**Наукова новизна.** Встановлені закономірності впливу складу та поверхневої щільності нетканих матеріалів на основі еластичних волокнистих відходів на їх теплофізичні властивості.

**Практична значимість.** Запропоновано склад та отримані нетканий матеріал на основі еластичних волокнистих відходів з поліпшеними теплофізичними властивостями, що задовольняють вимогам до біометричних пакетів речового майна військовослужбовців.

**Ключові слова:** коефіцієнт теплопровідності, нетканий матеріал, теплофізичні властивості, поліамід, волокна.

**Вступ.** Неткані матеріали залишаються одним із найбільш перспективних секторів текстильного ринку. Такі матеріали мають широкий спектр кінцевого використання: від медичних виробів до текстилю для інтер'єру [1]. Виробництво нетканих матеріалів постійно поширюється. Це пояснюється їх невисокою вартістю, так як для їх виготовлення використовуються відходи інших підгалузей текстильної промисловості, а також можливість їх використання взамін тканин аналогічного призначення. [2].

При проектуванні одягу з заданими теплозахисними властивостями для використання в різних кліматичних, виробничих і побутових умовах важливе значення мають теплофізичні характеристики текстильних матеріалів [3]. Визначення цих характеристик необхідне з точки зору теплового комфорту користувача одягу, а також ефективності захисту від низької або високої температури.

Під дією теплової енергії текстильні матеріали виявляють ряд властивостей:

- здатність проводити тепло (теплопровідність, тепловий опір, температуропровідність);
- здатність поглинати тепло (теплоємність);

- здатність змінювати, або зберігати свої властивості (тепло- і термостійкість, вогнестійкість, морозостійкість) [4].

Процес перенесення теплоти доволі складний. Розрізняють три способи перенесення теплоти: теплопровідність, конвекція і теплове випромінювання [5].

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.

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 [6]. Тому дослідження теплофізичних властивостей зокрема теплопровідності нових утеплюючих багатошарових композиційних текстильних матеріалів (БКТМ), відмінною особливістю яких є наявність нетканого полотна в якості середнього шару [7], є актуальним з огляду на практичне значення одержаних результатів.

**Постановка завдання.** *Мета роботи* – визначення теплофізичних властивостей нетканних матеріалів на основі еластичних волокнистих відходів призначених для подальшого використання у складі біометричних пакетів речового майна військовослужбовців.

**Матеріали та методи.** В роботі були досліджені чотири види нетканних матеріалів, виготовлених на основі еластичних волокнистих відходів текстильної промисловості. Волокнисті відходи являли собою плутанку високооб’ємних комбінованих петельних ниток, що склалися з комплексних волокон Лусга 162С (лінійна густина 4,4 текс) (ПУ), та волокон Nylon 6.6 f20/1 (лінійна густина 3,3 текс) (ПА-6,6) у співвідношенні 70/30 мас. %. Волокнисті відходи у вигляді джгуту нарізали на лабораторній роторній штапелерізці (довжина різки – 30 мм). До вихідного складу додавалися текстуровані штапельні волокна поліетилентерефталату – (ПЕТФ), прочесаного льону (Л) та коноплі (К) у співвідношенні 50/50 мас. % [8]. 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 280 мм). В залежності від складу і якості отриманого матеріалу, операцію прочісування повторювали 2-3 рази. Напрямок наступних операцій прочісування збігався з напрямком попереднього прочісування. Отримане полотно скріплювали за рахунок операції голкопробивання на машині ВП-1. Для порівняння були використані зразки стандартних нетканних полотен з ПЕТФ та арамідних волокон (АВ), виготовлених в промислових умовах. Основні характеристики досліджених зразків наведені в табл. 1.

Таблиця 1.

### Характеристика нетканних матеріалів

№ п/п	Волокнистий склад	Співвідношення компонентів, мас. %	Лінійна густина елементарного волокна, текс	Довжина волокон, мм	Поверхнева щільність матеріалу, г/м <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6
1	ПУ/ПА-6,6	70/30	0,44 (ПУ) 0,33 (ПА-6,6)	30	226

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6
2	(ПУ/ПА-6,6)/ПЕТФ	50/50	0,44 (ПУ) 0,33 (ПА-6,6) 0,33 (ПЕТФ)	30/60	329
3	(ПУ/ПА-6,6)/Л	50/50	0,44 (ПУ) 0,33 (ПА-6,6) 4,3 (Л)	30	164
4	(ПУ/ПА-6,6)/К	50/50	0,44 (ПУ) 0,33 (ПА-6,6) 6,7 (К)	30	150
5	ПЕТФ	100	0,33 (ПЕТФ)	60	350
6	ПЕТФ	100	0,33 (ПЕТФ)	60	250
7	АВ	100	0,17 (АВ)	60	300

Експериментально теплопровідність визначали на вимірювачі типу ІТ-λ-400, робота якого ґрунтується на монотонному тепловому режимі розігрівання зразка в широкому діапазоні температури.

Вимірювач ІТ-λ-400 складається із блока живлення і регулювання, вимірювального блока з вимірювальною коміркою і мікровольт-амперметра Ф-136. Блок живлення і регулювання забезпечує нагрівання ядра вимірювального осередка зі середньою швидкістю майже 1 К/с і автоматичне регулювання температури.

Для розрахунку теплопровідності  $\lambda$  ( $Вт/(м \cdot К)$ ) досліджених матеріалів була використана формула:

$$\lambda = \frac{h}{R_0} \quad (1)$$

При визначенні теплопровідності методом динамічної калориметрії основна задача полягає у визначенні теплового опору зразка  $R_0$ . Цю величину можна розрахувати за формулою [9]:

$$R_0 = \frac{n_0 F (1 + \sigma_0)}{n_T \cdot K_T} - R_k \quad (2)$$

де:  $n_0, n_T$  - вимірюваний в процесі досліду перепад температур відповідно на зразку і тепломірі;

$F$  – площа перерізу зразка,  $м^2$ ;  $F = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$ ;

$\sigma_0$  – поправка, що враховує теплоємність зразка;

$K_T$  – теплова провідність пластини;

$R_k$  – поправка до термічного опору контакту (величини  $K_T$  і  $R_k$  для даної установки є сталими і визначаються із градуированих дослідів).

**Результати дослідження.** Текстильні матеріали мають складну пористу структуру, що утворена волокнами і прошарками, заповненими повітрям. Пори розташовуються як між волокнами, так і всередині них. Перенесення теплоти в подібних матеріалах з неоднорідною пористою структурою здійснюється завдяки теплопровідності волокон і повітря, що знаходиться в замкнутих порах. Тому коефіцієнт теплопровідності характеризує здатність матеріалу передавати теплову енергію не тільки внаслідок теплопровідності, але й шляхом конвекції і випромінювання.

Із збільшенням пористості структури до певної межі теплопровідність текстильних

матеріалів знижується. Однак при подальшому підвищенні пористості матеріалу та при появі незамкнутих наскрізних пор, здатність матеріалів проводити тепло підвищується, що пояснюється збільшенням ролі конвекції в цьому процесі [10].

Результати дослідження теплофізичних властивостей нетканих матеріалів різного складу представлені в табл. 2.

Таблиця 2.

**Теплофізичні властивості нетканих матеріалів\***

№ п/п	Склад нетканого матеріал	Поверхнев а 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
7	АВ	300	1,5	0,165	1817,65

\*Випробування проводили при температурі 373 К.

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 коноплі не чинить суттєвого 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 у 1,9-2,0 рази нижчі, ніж для зразка №5.

На рис. 1 представлені порівняльні значення коефіцієнта теплопровідності для зразків нетканих матеріалів різного складу.

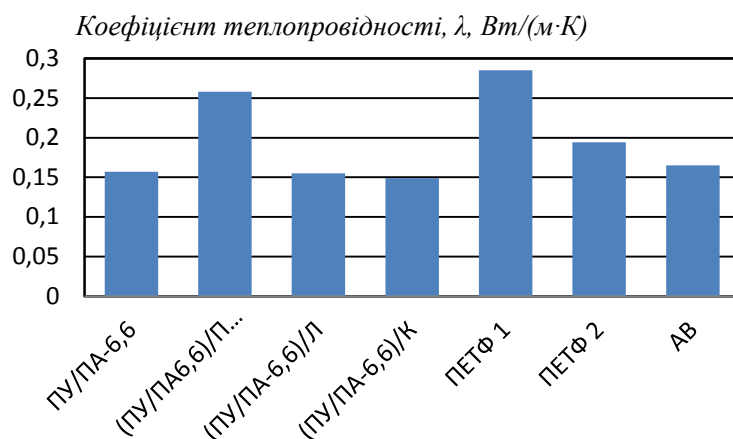


Рис. 1. Співставлення коефіцієнтів теплопровідності зразків нетканних матеріалів різного складу

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 стандартних нетканних матеріалів №6 та №7 демонструють проміжні значення коефіцієнта теплопровідності.

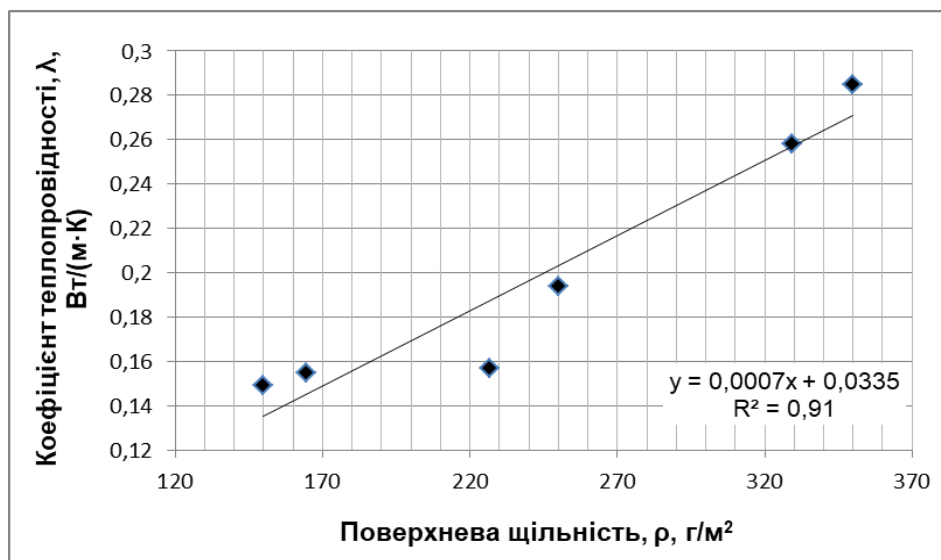


Рис. 2. Кореляційна залежність коефіцієнта теплопровідності від поверхневої щільності для зразків нетканних матеріалів різного складу

На рис.2 наведена залежність коефіцієнта теплопровідності від поверхневої щільності для досліджених зразків нетканних матеріалів різного складу. Як можна бачити спостерігається лінійний кореляційний зв'язок між цими показниками.

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 нетканних матеріалів.

Таким чином 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 та коноплі дозволяє одержати нетканий матеріал із достатньо низьким коефіцієнтом теплопровідності та меншою поверхневою щільністю.

Можна допустити, що додавання природних волокон буде сприяти й поліпшенню деяких інших властивостей таких як: гігроскопічність, гігієнічність, повітропроникність. Це може бути предметом подальших досліджень.

**Висновки.** Визначені закономірності впливу складу та поверхневої щільності нетканих матеріалів на їх теплофізичні властивості. Показано, 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 та коноплі дозволяє одержати нетканий матеріал із достатньо низьким коефіцієнтом теплопровідності (0,15-0,16 Вт/(м·К)) за меншої, в порівнянні з вихідним зразком, поверхневої щільності. Запропоновані неткані матеріали з поліпшеними теплофізичними властивостями відповідають вимогам до біометричних пакетів речового майна військовослужбовців.

### Література

1. Chapman, R. A. Applications of Nonwovens in Technical Textiles. Applications of Nonwovens in Technical Textiles. (Elsevier Ltd, 2010). doi:10.1533/9781845699741
2. Chena W., Russell S. Handbook of Nonwovens (Elsevier Inc., 2006).
3. Matusiak, M. & Kowalczyk, S. Thermal-Insulation Properties of Multilayer Textile Packages. *Autex Research Journal* 14, 299–307 (2014).
4. Z. S. Abdel-Rehim, M. M. Saad, M. El-Shakankery, I. Hanafy. Textile fabrics as thermal insulators. *Autex Research Journal*. 6, 148–161 (2006).
5. Шустов Ю.С. Основы текстильного материаловедения. – М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2007. – 302 с.
6. McNamee, R., Pimienta P., Felicetti, R. Physical Properties and Behaviour of High-Performance Concrete at High Temperature. *Rilem State of the Art Reports* 29, 61–69 (Springer Netherlands, 2019).
7. Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности: Учебник для студ. высш. учеб. заведений / А.П. Жихарев, Д.Г. Петропавловский, С.К. Кузин, В.Ю. Мишаков. - М.: Издательский центр "Академия", 2004. - 448 с. ISBN 5-7695-1468-X
8. Визначення теплового опору нових композиційних текстильних матеріалів з використанням установки ИТ-7С [Текст] / В. Н. Василенко, Н. П. Супрун, Л. Й. Воробійов, З. А. Бурова // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Технічні науки. – 2014. – № 5 (79). – С. 198-202.

### References

1. Chapman, R. (Eds.) (2010). *Applications of nonwovens in technical textiles: Woodhead Publishing Series in Textile*. Woodhead Publishing Limited. doi:10.1533/9781845699741
2. Chena W. (2006). *Handbook of Nonwovens*.
3. Matusiak, M. & Kowalczyk, S. (2014). *Thermal-Insulation Properties of Multilayer Textile Packages*. *Autex Research Journal*, Vol. 2, 299-307.
4. Z. S. Abdel-Rehim, M. M. Saad, M. El-Shakankery, I. Hanafy. (2006). *Textile fabrics as thermal insulators*. *Autex Research Journal*, Vol. 6, 148–161.
5. Shustov Yu.S. (2007). *Osnovy tekstil'nogo materialovedeniya*. [in Russian]
6. McNamee, R., Pimienta P., Felicetti, R. (2019). Physical Properties and Behaviour of High-Performance Concrete at High Temperature. *Rilem State of the Art Reports*, Vol. 29, 61–69.
7. Zhikharev A.P., Petropavlovskiy D.G., Kuzin S.K., Mishakov V.Yu. (2004). *Materialovedenie v proizvodstve izdeliy legkoy promyshlennosti* [Materials science in the manufacture of light industry products]. ISBN 5-7695-1468-X
8. Vasylenko V. N., Suprun N. P., Vorobiov L. Y., Burova Z. A. (2014). Vyznachennia teplovoho oporu novykh kompozytsiinykh tekstyl'nykh materialiv z vykorystanniam ustanovky IT-7C [Viznachennya thermal support of new textile materials for installation of IT-7C]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dizainu. Tekhnichni nauky - Bulletin of the Kiev National University of Technology and Design. Technical sciences*, 5,79, 198-202 [in Ukraine].
9. Kucherenko, E. V., Budash Yu. O., Plavan, V. P., Lytvynova O. I. (2016). Oderzhannia ta vlastyvoli netkanykh materialiv iz voloknystykh vidkhodiv [Receipt and properties of nonwoven materials from

9. Одержання та властивості нетканых матеріалів із волокнистых відходів [Текст] / Є. В. Кучеренко, Ю. О. Будащ, В. П. Плаван, О. І. Литвинова // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Технічні науки. – 2016. – № 4 (100). – С. 99-106.  
10. Платунов Е. С. Теплофизические измерения в монотонном режиме / Е. С. Платунов. - Ленинград: Энергия, 1973.

fibrous waste]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu. Tekhnichni nauky – Bulletin of the Kiev National University of Technology and Design. Technical sciences*, 2,100, 99-106 [in Ukraine].

10. Platunov E. S. (1973). *Teplofizicheskie izmereniya v monotonnom rezhime* [Thermophysical measurements in monotonous mode] [in Russian]

**KUCHERENKO YELYZAVETA**

ResearcherID: H-7625-2018

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5352-3292>

Department of Applied Ecology, Technology of Polymers and Chemical Fiber, Kiev National University of Technology and Design

**BUDASH YURI**

Scopus Author: 9134072100

Researcher ID <http://www.researcherid.com> ID: H-6012-2018

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8718-1577>

Department of Applied Ecology, Technology of Polymers and Chemical Fibers of the Kiev National University of Technology and Design

**PLAVAN VIKTORIYA**

ResearcherID: I-5852-2015

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9559-8962>

Department of Applied Ecology, Technology of Polymers and Chemical Fiber, Kiev National University of Technology and Design

**ROMANIUK OKSANA**

Scopus Author ID: 57144479500

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9774-9875>

Kyiv National University of Technology and Design, Department of Thermal Power Engineering, Resource Saving and Technogenic Safety

## АНАЛИЗ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОЛОКНИСТЫХ НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА

КУЧЕРЕНКО Е. В., ПЛАВАН В. П., БУДАШ Ю. А., РОМАНИУК О. А.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

**Цель.** Определение теплофизических свойств нетканых материалов на основе эластичных волокнистых отходов предназначенных для дальнейшего использования в составе биометрических пакетов вещевого имущества военнослужащих.

**Методика.** В работе были исследованы четыре вида нетканых материалов, изготовленных на основе эластичных волокнистых отходов текстильной промышленности. Для формирования волокнистого полотна использовали чесальную машину марки ЧБВ. Полученные полотна скрепляли за счет операции голкопробивания на машине ВП-1. Теплопроводность определяли с помощью метода динамической калориметрии на измерителе теплопроводности типа ИТ-λ-400. Для обеспечения необходимой достоверности полученных результатов осуществлялась обработка данных с использованием метода математической статистики в программе Microsoft Excel.

**Результаты.** Показано, что добавление к исходному составу ПУ/ПА-6,6 волокон ПЕТФ ухудшает теплозащитные свойства материала. В то же время использование до 50 масс.% природных волокон льна и конопли позволяет получить нетканый материал с достаточно низким коэффициентом теплопроводности (0,15-0,16 Вт/(м·К)) при меньшей, по сравнению с исходным образцом, поверхностной плотности. При этом их удельная массовая изобарная теплоемкость практически не зависит от поверхностной плотности.

**Научная новизна.** Установлены закономерности влияния состава и поверхностной плотности нетканых материалов на основе эластичных волокнистых отходов на их теплофизические свойства.

**Практическая значимость.** Предложен состав и получены нетканые материалы на основе эластичных волокнистых отходов с улучшенными теплофизическими свойствами, удовлетворяющие требования биометрических пакетов вещевого имущества военнослужащих.

**Ключевые слова:** коэффициент теплопроводности, нетканый материал, теплофизические свойства, полиамид, волокна.

---

ANALYSIS OF THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF FIBER NONWAVE MATERIALS  
OF DIFFERENT COMPOSITION

KUCHERENKO Y., PLAVAN V., BUDASH Y., ROMANIUK O.

Kiev National University of Technology and Design

**Purpose.** Determination of thermophysical properties of non-woven materials on the basis of elastic fibrous wastes intended for further use in the composition of biometric packages of belongings of military personnel.

**Method.** Four types of nonwovens made on the basis of the elastic fibrous wastes of the textile industry were investigated. To create a fibrous cloth used a combing machine brand CHBV. The obtained cloths were fastened by the needle punching operation on the VP-1 machine. The thermal conductivity was determined by the dynamic calorimetry method on an IT- $\lambda$ -400 heat conductivity meter. In order to ensure the necessary reliability of the obtained results, the data were processed using the method of mathematical statistics in Microsoft Excel.

**Results.** Addition to the initial composition of PU/PA-6,6 PET fibers is shown to impair the thermal properties of the material. At the same time, the use of up to 50% by weight of natural fibers of flax and hemp allows to obtain a nonwoven fabric with a sufficiently low coefficient of thermal conductivity (0.15-0.16 W/(m·K)) with a smaller surface than the original sample. density. At the same time, their specific mass isobaric heat capacity is almost independent of the surface density.

**Scientific novelty.** The regularities of the influence of the composition and surface density of nonwoven materials based on elastic fibrous wastes on their thermophysical properties are established.

**Practical significance.** A composition was proposed and nonwoven materials based on elastic fibrous waste with improved thermophysical properties were obtained that met the requirements of the biometric packages of clothing belonging to servicemen.

**Key words:** thermal conductivity coefficient, non-woven material, thermal properties, polyamide, fibers.