

УДК 677.075

АРАБУЛІ С.І.

Київський національний університет технологій та дизайну

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРОПРОНИКНОСТІ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Мета. Аналіз існуючих методів визначення паропроникності текстильних матеріалів та її показників для визначення доцільності використання тієї чи іншої методики в залежності від задач дослідження.

Методика. Аналітичний огляд та систематизація науково-технічної інформації щодо методів дослідження паропроникності.

Результати. В роботі наведений аналіз сучасних стандартизованих методів дослідження паропроникності – відмічені їх особливості, переваги та недоліки. Аналіз охоплює методики, які представлені в ASTM E96; ISO 15496; BS 7209; JIS L1099; ISO 2528; ДСТУ 3672; ISO 11092; ASTM 1868.

Наукова новизна. Проведено детальний аналіз існуючих методів визначення паропроникності текстильних матеріалів та систематизовано основні напрями та перспективи досліджень.

Практична значимість. Наведена в роботі систематизація методів дослідження паропроникності текстильних матеріалів надає можливість швидкого орієнтування в великій кількості методів та показників для визначення доцільності використання тієї чи іншої методики в залежності від задач дослідження.

Ключові слова: паропроникність, методи дослідження, текстильні матеріали..

Вступ. Процес перенесення вологи крізь текстильні матеріали (ТМ) є важливим фактором, який впливає на термофізіологічний комфорт тіла людини. Волога може переноситися через ТМ у вигляді пари та рідини. Аналіз наукової літератури вказує на високий і постійний інтерес до проблеми надійного визначення паропроникності ТМ [1 – 10]. На сьогодні існує багато способів визначення паропроникності ТМ та термінів, які характеризують це явище. Їх аналіз показує, що різноманітність умов випробувань, конструкцій пристроїв та підходів надає можливість більш глибокого та всебічного вивчення явища паропроникності. Однак з іншого боку, існує проблема неможливості порівняння числових значень, одержаних при випробуваннях за різними методиками.

Постановка завдання. Враховуючи вищенаведені факти, а також проблеми, виявлені в дослідженнях цього явища, метою роботи є аналіз існуючих методів визначення паропроникності ТМ та її показників для визначення доцільності використання тієї чи іншої методики в залежності від задач дослідження.

Результати дослідження. В роботі були проаналізовані методи дослідження паропроникності, на які існують нормативні документи: ASTM E96 Standard test methods for water vapor transmission of materials (Стандартні методи дослідження паропроникності матеріалів); ISO 15496 Textiles – Measurement of water vapor permeability of textiles for the purpose of quality control (Текстиль – Вимірювання паропроникності текстильних матеріалів з метою контролю якості); BS 7209 Specification for water vapor permeable apparel fabrics (Інструкція по визначенню паропроникності полотен одягового призначення); JIS L1099 Testing methods for water vapour permeability of textiles (Методи дослідження паропроникності текстильних матеріалів); ISO 2528 Sheet materials. Determination of water vapour transmission

rate – Gravimetric (dish) method (Плaskі матеріали. Визначення паропроникності – Гравіметричний метод); ДСТУ 3672 Полотна і вироби трикотажні. Метод визначення паропроникності та вологопоглинання; ISO 11092 (EN 31092) Textiles – Physiological effects – Measurement of thermal and water-vapour resistance under steady-state conditions (Текстильні матеріали – Фізіологічні характеристики – Визначення теплового опору і опору потоку водяної пари в стаціонарних умовах); ASTM 1868 Standard test method for thermal and evaporative resistance of clothing materials using a sweating hot plate (Стандартний метод дослідження теплового опору та опору потоку водяної пари з використанням потіючої теплої пластини).

Усі методи можна розділити на дві групи:

- гравіметричні методи;
- методи так званої «потіючої теплої пластини».

Гравіметричні методи – найпоширеніші та прості (у приладовому оформленні та за процедурою дослідження) методи визначення паропроникності ТМ. Друга назва – «метод склянки» (у англomовній літературі – “cup method”, “dish method”). Метод вперше був стандартизованим у 1953 році. Цей метод покладений в основу таких стандартів як: ASTM E96; ISO 2528; ISO 15496; BS 7209; JIS L 1099; ДСТУ 3672. Існує декілька процедур визначення паропроникності (рис.1):

- «метод сорбенту» (у англomовній літературі – “desiccant method”) – метод за яким, перенесення пари здійснюється з зовнішнього середовища у склянку (рис.1, а);
- «водний метод» (у англomовній літературі – “water method”) – метод за яким, перенесення пари здійснюється у напрямку зі склянки у зовнішнє середовище (рис.1, б);
- «перевернутий водний метод» (у англomовній літературі – “inverted water method”) – метод, аналогічний «водному методу», але склянка перевернута так, що проба знаходиться в контактi з водою (рис.1, в).

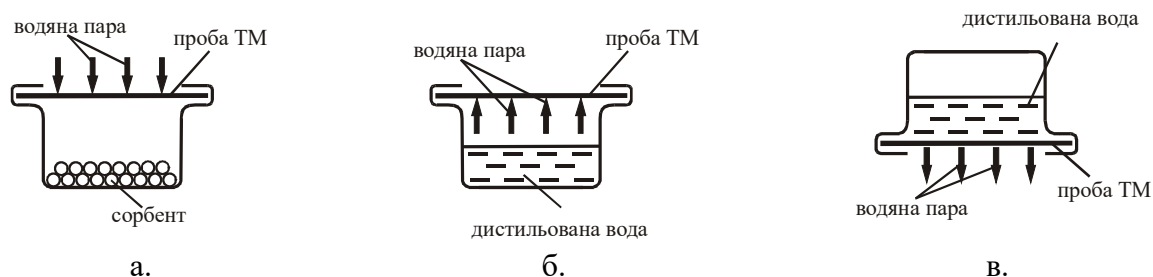


Рис.1. Схеми визначення паропроникності за «методом склянки» (ASTM E96):
а – метод сорбенту; б – водний метод; в – перевернутий водний метод

Згідно ASTM E96 існує шість процедур визначення паропроникності в залежності від умов проведення експерименту (табл. 1). Середня тривалість досліду $1 \div 24$ години.

При дослідженні за «методом сорбенту» за процедурами А, С, Е (ASTM E96) висушений хлорид кальцію або силікагель поміщають у склянку, яка щільно покривається пробою ТМ. Підготовлена до експерименту склянка розміщується у контрольованому середовищі (табл. 1). Під дією різниці концентрації (тиску) водяної пари ззовні та всередині

склянки відбувається дифузія парів крізь ТМ всередину склянки, де вони абсорбуються сорбентом. Кількість поглиненої пари визначається ваговим методом.

Таблиця 1

Характеристика процедур визначення паропроникності за ASTM E96

Метод	Процедура	Температура оточуючого середовища, °С	Відносна вологість повітря з двох боків текстильного матеріалу, φ, %	
			у склянці	ззовні
Метод сорбенту	A	23,0	0	50
	C	32,2	0	50
	E	37,8	0	90
Водний метод	B	23,0	100	50
	D	32,2	100	50
«Перевернутий водний метод»	BW	23,0	100	50

При дослідженні за «водним методом» за процедурами В та D (ASTM E96) дистильована вода наливається у склянку, яка щільно закривається пробкою ТМ. Підготовлена до експерименту склянка розміщується у контрольованому середовищі (табл. 1). Під дією різниці концентрації (тиску) водяної пари всередині склянки та ззовні відбувається дифузія парів крізь ТМ зі склянки до оточуючого середовища.

Аналіз показав, що паропроникність, визначена за «методом сорбенту» та «водним методом», більш адекватно відображає рівень комфорту при низькій фізичній активності (низькому потовиділенню), але не надає інформацію про конденсацію на поверхні текстилю. До недоліків цих методів слід віднести наступне – характеристики паропроникності, одержані за цими методами, залежать не тільки від властивостей дослідженого ТМ, але і від товщини шару повітря, який стикається з поверхнею текстилю (причому товщина матеріалу значно менша товщини повітряного прошарку з одного та іншого боку проби). Ці методики придатні для оцінки паропроникності ТМ одягової групи без поверхневих обробок.

Для ТМ з водовідштовхувальною обробкою рекомендоване застосування «перевернутого водного методу» за процедурою BW (ASTM E96). Дистильована вода наливається у склянку, яка щільно покривається пробкою ТМ та перевертається так, щоб проба знаходилася в контакті з водою.

За ISO 15496 «Метод склянки» здійснюється «перевернутим методом сорбенту» (у англомовній літературі – “inverted desiccant method”). Сорбент (розчин ацетату калію) поміщають у склянку, яка щільно покривається політетрафторетиленовою (ПТФЕ) мембраною (рис.2, а). ПТФЕ мембрана є водонепроникною, але проникною для парів вологи. Пробу ТМ, що досліджується, та другий шар ПТФЕ мембрани закріплюють у п’яльця (рис.2, б). Підготовлену зазначеним чином пробу з ПТФЕ мембраною занурюють у ємність з водою так, щоб ПТФЕ мембрана торкалася води. Склянку з сорбентом перевертають дном вгору та встановлюють на пробу ТМ (рис.2, в). Пари вологи дифундують крізь ПТФЕ мембрану та адсорбуються сорбентом (розчином ацетату калію).

Аналіз показав, що паропроникність, визначена за «перевернутим методом сорбенту», більш адекватно відображає рівень комфорту при високій фізичній активності (високому

потовиділенню) тому що виключає вплив повітряного прошарку. Цей гравіметричний метод є примітивним прототипом нового покоління методів визначення паропроникності – методів «потіючої теплої пластини». ПТФЕ мембрана моделює шкіру людини.



Рис. 2. Схема дослідження паропроникності ТМ «перевернутим методом сорбенту»

Розглянемо показники, які прийняті для характеристики паропроникності ТМ, визначені гравіметричними методами:

1. Паропроникність, Π , $\frac{g}{m^2 \cdot год}$ або $\frac{g}{m^2 \cdot 24 год}$ [10] (у англомовній літературі – Water Vapor Transmission Rate, WTR) – маса водяної пари, яка проходить із середовища з більшою вологістю у середовище з меншою вологістю крізь одиницю площі поверхні матеріалу за одиницю часу:

$$\Pi = G / (t \cdot A) \quad (1)$$

де G – зміна маси склянки у часі, г;

t – час дослідження, год;

A – площа проби текстильного матеріалу, m^2 .

2. Паро- або вологопровідність, B_{Π} , $\frac{g}{m^2 \cdot год \cdot Па}$ [10] (у англомовній літературі – Water Vapor Permeance, W_d) – маса водяної пари, яка проходить із середовища з більшою вологістю у середовище з меншою вологістю крізь одиницю площі поверхні матеріалу за одиницю часу при одиничній різниці тисків пари з обох боків матеріалу:

$$B_{\Pi} = G / (t \cdot A \cdot \Delta p) \quad (2)$$

де Δp – різниця парціальних тисків водяної пари з обох боків досліджуваного матеріалу, Па.

3. Дифузійна паропроникність, δ , $\frac{g \cdot m}{m^2 \cdot год \cdot Па}$ (у англомовній літературі – Water Vapor Permeability, WVP) – маса водяної пари, яка проходить із середовища з більшою вологістю у середовище з меншою вологістю крізь одиницю площі поверхні матеріалу за одиницю часу при одиничній різниці тисків пари з обох боків матеріалу, відносно товщини матеріалу:

$$\delta = G \cdot h / (t \cdot A \cdot \Delta p) \quad (3)$$

де h – товщина текстильного матеріалу, м.

4. Відносна паропроникність, P , % [10] (у англомовній літературі – Relative Water Vapor Permeability, $RWVP$) – відношення кількості парів вологи (G), яка випарувалася через пробу текстильного матеріалу, до кількості парів вологи (G_2), яка випарувалася зі склянки без проби текстильного матеріалу:

$$P = 100 \cdot G/G_2. \quad (4)$$

Методи «потіючої теплої пластини» (ISO 11092 (EN 31092) та ASTM 1868) можна віднести до нового покоління методів для визначення паропроникності ТМ [6, 8]. Ці методи відрізняються тим, що випробування проводять при безпосередньому контакті ТМ з вологою так званою «потіючою» поверхнею. Під час дослідження враховується загальна маса пароподібної вологи (поглинутої та пропущеної), яка характеризує здатність ТМ видаляти вологу з підодягового простору. Прикладами таких приладів є SGHP-8.2 (США), PSM-2 (Чеська Республіка) та PERMETEST (Чеська Республіка).

При дослідженні за методом «потіючої теплої пластини» пробу ТМ (розмір 300×300 мм) розташовують на поверхні обігріваної «потіючої» пластини, яка вкрита паропроникною мембраною з целофану (рис. 4). Пластина обігривається та крізь мікропори обігріваної пластини та мембрани подається вода ($T_{води} = 35 \text{ }^{\circ}\text{C}$), що моделює процес потовиділення шкірою людини. Умови випробування: $T_{повітря} = T_{пластини} = 35 \text{ }^{\circ}\text{C}$; відносна вологість повітря $\phi = 40 \%$; швидкість повітря $v = 1 \text{ м/с}$. Під час вимірювання температура пластини підтримується на постійному рівні. Поступово вода, проходячи крізь пластину та мембрану, випаровується. Енергія, яка витрачається на підтримання постійної температури пластини враховується при визначенні основної характеристики «опір потоку водяної пари». Тривалість дослідження однієї проби від однієї до двох годин.

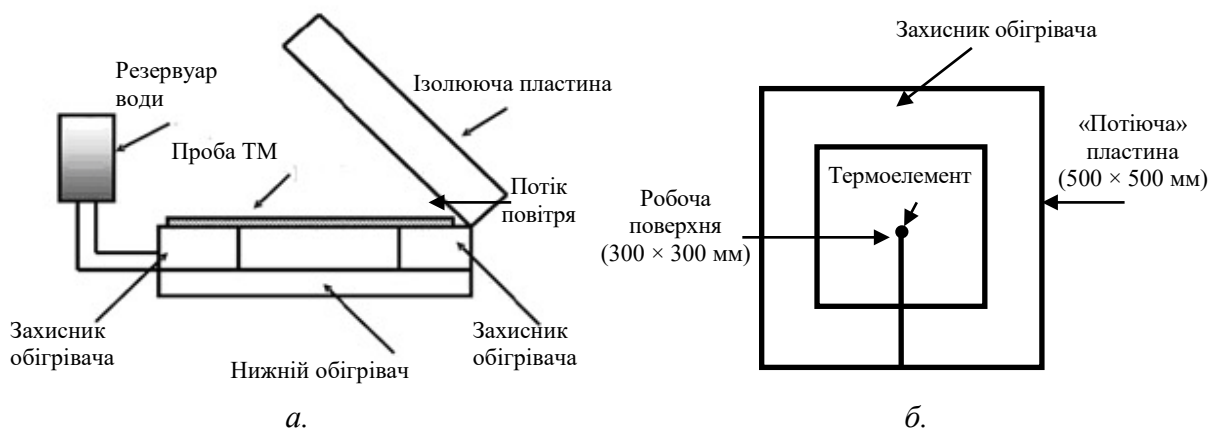


Рис.4. Схема визначення паропроникності за методом «потіючої теплої пластини» на приладі SGHP-8.2 [ISO 11092 (EN 31092)]

Для характеристики паропроникних властивостей ТМ, визначених методом «потіючої теплої пластини», використовують наступні показники:

1. Опір потоку водяної пари, $R_{et}, \text{ м}^2 \cdot \text{Па} / \text{Вт}$ (у англійській літературі – Water-

Vapor Resistance) – відношення перепаду парціального тиску водяної пари між двома поверхнями матеріалу до сумарного теплового потоку випаровування крізь одиницю поверхні у напрямку градієнту:

$$R_{et} = \Delta p \cdot A / (H - \Delta H_e) \quad (5)$$

де Δp – різниця парціальних тисків водяної пари з обох боків досліджуваного матеріалу, Па;
 A – площа обігріваної пластини, м^2 ;

H – кількість тепла, що подається до обігріваної пластини, Вт;

ΔH_e – корегуючий коефіцієнт, Вт.

2. Коефіцієнт проникності водяної пари, i_{mt} (у англомовній літературі – Water-Vapor Permeability Index) – відношення теплового опору до опору потоку водяної пари та є безрозмірною величиною, із значеннями в діапазоні $0 \div 1$:

$$i_{mt} = S \cdot R_{ct} / R_{et} \quad (6)$$

де $S = 60$ Па/К;

R_{ct} – тепловий опір, $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$;

Коефіцієнт «нуль» характеризує матеріал, крізь який водяна пара не проникає, тобто матеріал має нескінчений опір потоку водяної пари, і навпаки, коефіцієнт «одиниця» характеризує матеріал, у якого тепловий опір і опір потоку водяної пари такий самий, як і у шару повітря тієї самої товщини.

3. Паро- або вологопровідність, W_d , $\text{г} / \text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па}$ (у англомовній літературі – Water Vapor Permeance) – маса водяної пари, яка проходить із середовища з більшою вологістю у середовище з меншою вологістю крізь одиницю площі поверхні матеріалу за одиницю часу при одиничній різниці тисків пари з обох боків матеріалу:

$$W_d = 1 / (R_{et} \cdot \phi T_{\text{пластини}}) \quad (7)$$

де $\phi T_{\text{пластини}}$ – «приховане (латентне)» тепло випаровування при температурі пластини $T_{\text{пластини}}$, $\text{Вт} \cdot \text{год} / \text{г}$.

Як зазначалося вище метод «потіючої теплої пластини» відрізняється складним апаратним оформленням, високою вартістю, складністю конструкції та обслуговування. Метод матеріалоємний (розмір однієї проби 300×300 мм) та відрізняється значною тривалістю досліду однієї проби ($1 \div 2$ години).

Зважаючи на недоліки методу «потіючої теплої пластини» вченим Л. Гесом [10], який є визнаним авторитетом з питань оцінки комфорту одягу, був розроблений експрес-метод для швидкої оцінки паропроникності, так званий «шкірний симулятор» (у англомовній літературі «skin simulator») та прилад PERMETEST [10]. Умови випробування ТМ на приладі PERMETEST відрізняються від умов за ISO 11092 (EN 31092): $T_{\text{повітря}} = 20 \div 22$ °С; відносна вологість повітря $\varphi = 45 \div 60$ %; швидкість повітря $v = 1,5$ або $3,0$ м/с. При дослідженні на приладі PERMETEST пробу ТМ (діаметром 90 мм) розташовують на відстані $1,0 \div 1,5$ мм від попередньо зволоженої пористої поверхні. Тепловий потік, який генерується під час випаровування рідкої вологи з пористої поверхні, вимірюється датчиком. Час дослідження $2 \div 8$ хвилин. Для характеристики паропроникності за цим методом використовують показник:

1. Відносна паропроникність, P , % (у англомовній літературі – Relative Water Vapor Permeability, $RWVP$) – відношення теплових втрат (H), які генеруються при розміщенні проби текстильного матеріалу на пористій поверхні, до теплових втрат (H_2), які генеруються пористою поверхнею не вкритою пробою текстильного матеріалу:

$$P = 100 \cdot H / H_2. \quad (8)$$

Розглянутий метод є експрес-методом, який дозволяє одержати відносні дані щодо паропроникних характеристик ТМ.

Висновки. Виходячи з аналізу умов випробувань гравіметричними методами та методами «потіючої теплої пластини» можна зробити висновок, що не можна встановити

чіткої кореляційної залежності між величинами, одержаними за різними методами, навіть за умови приведення їх до одних одиниць вимірювання. Це обумовлено великою різницею в умовах випробування для різних методик, а саме, у показниках вологості та температури оточуючого середовища, швидкості повітря, а також самій процедурі дослідження. Відмінність хоча б одного з факторів випробування призводить до переваги того чи іншого способу перенесення парів вологи через ТМ. Також слід відмітити, що результати, одержані за гравіметричними методами та методами «потіючої теплої пластини», – є характеристиками ТМ і не можуть бути застосовані для прямої оцінки комфортності одягу внаслідок того, що не враховують площу покриття тіла людини, особливості конструкції одягу, особливості фізіологічного стану людини його рухи і т.п.

Виходячи з вищевикладеного, очевидно, що кожний з методів має як свої переваги так і недоліки, але, на жаль, порівняння даних, одержаних за різними методиками є неможливим. При виборі методу дослідження паропроникності ТМ дослідник або виробник мають в першу чергу керуватися функціональним призначенням виробу, умовами його експлуатації, а також зважати на матеріальні та трудові витрати.

Список використаної літератури

1. Watkins D.A., Slater K. The moisture-vapour permeability of textile fabrics // *Journal of the Textile Institute.* – 1981. – Vol. 72, No 1. – p. 11 – 18.
2. Gibson P.W., Effect of temperature on water vapor transport through polymer membrane laminates // *Journal of Polymer testing.* – 2000. – No 19. – p. 673 – 691.
3. Qu J., Ruckman J. A new calculation method of water vapour permeability at unsteady state // *Journal of the Textile Institute.* – 2006. – Vol. 97, No 5. – p. 449 – 453.
4. Das B., Das A., Kothari V., Fanguiero R., Araujo M. Moisture transmission through textiles. Part I: Processes involved in moisture transmission and the factors at play // *AUTEX Research Journal.* – 2007. – Vol.7, №2. – p.100 – 109.
5. Das B., Das A., Kothari V., Fanguiero R., Araujo M. Moisture transmission through textiles. Part II: Evaluation methods and mathematical modeling // *AUTEX Research Journal.* – 2007. – Vol.7, №3. – p.194 – 216.
6. Skenderi Z., Cubric I. Water vapour resistance of knitted fabrics under different environmental conditions // *Fibers & Textiles in Eastern Europe.* – 2009. – Vol.17, №2. – p.72 – 75.
7. Ramkumar S., Purushothaman A., Hake K., McAlister D. Relationship between cotton varieties and moisture vapor transport of knitted fabrics // *Journal of Engineered Fibers and Fabrics.* – 2007. – Vol.2, №4. – p.10 – 18.
8. Huang J. Sweating guarded hot plate test method // *Journal of Polymer testing.* – 2006. – No 25. – p. 709 – 716.
9. Лабораторный практикум по материаловедению швейного производства: Учеб. пособие для вузов/ Б.А. Бузов, Н.Д. Алыменкова, Д.Г. Петропавловский. – М.: Легпромбытиздат, 1991. – 432 с.
10. Hes L. A new indirect method for fast evaluation of the surface moisture absorptivity of engineered garment // *Conference on Engineered Textiles, Manchester, UK.* – 1998. – p. 32 – 36.

References

1. Watkins, D.A., Slater, K. (1981), The moisture-vapour permeability of textile fabrics, *Journal of the Textile Institute*, Vol. 72 No. 1, pp. 11–18 [in English].

2. Gibson, P.W. (2000), Effect of temperature on water vapor transport through polymer membrane laminates, *Journal of Polymer testing*, No. 19, pp. 673–691 [in English].
3. Qu, J., Ruckman, J. (2006), A new calculation method of water vapour permeability at unsteady state, *Journal of the Textile Institute*, Vol. 97 No. 5, pp. 449–453 [in English].
4. Das, B., Das, A., Kothari, V., Fanguiero, R., Araujo, M. (2007), Moisture transmission through textiles. Part I: Processes involved in moisture transmission and the factors at play, *AUTEX Research Journal*, Vol.7 No. 1, pp. 100–109 [in English].
5. Das, B., Das, A., Kothari, V., Fanguiero, R., Araujo, M. (2007), Moisture transmission through textiles. Part II: Evaluation methods and mathematical modeling, *AUTEX Research Journal*, Vol.7 No. 3, pp.194–216 [in English].
6. Skenderi, Z., Cubric, I. (2009), Water vapour resistance of knitted fabrics under different environmental conditions, *Fibers & Textiles in Eastern Europe*, Vol.17 No. 2, pp.72–75 [in English].
7. Ramkumar, S., Purushothaman, A., Hake, K., McAlister, D. (2007), Relationship between cotton varieties and moisture vapor transport of knitted fabrics, *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, Vol.2 No. 4, pp.10–18 [in English].
8. Huang, J. (2006), Sweating guarded hot plate test method, *Journal of Polymer testing*, No 25, pp. 709–716 [in English].
9. Buzov, B.A., Alymenkova, N.D., Petropavlovskiy, D.G. (1991) *Laboratornyy praktikum po materialovedeniyu shveyrnogo proizvodstva* [Laboratory workshop on the material science of garment production], Legprombytizdat, Moscow, Russia [in Russian].
10. Hes, L. (1998), A new indirect method for fast evaluation of the surface moisture absorptivity of engineered garment. *Proc. of the Conference on Engineered Textiles*, Manchester, UK., pp. 32–36 [in English].

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРОПРОНИЦАЕМОСТИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ АРАБУЛІ С.І.

Київський національний університет технологій і дизайну

Цель. Анализ существующих методов определения паропрооницаемости текстильных материалов и ее показателей для определения целесообразности использования той или иной методики в зависимости от задач исследования.

Методика. Аналитический обзор и систематизация научно-технической информации относительно методов исследования паропрооницаемости.

Результаты. В работе представлен анализ современных стандартизированных методов исследования паропрооницаемости – отмечены их особенности, преимущества и недостатки. Анализ охватывает методики, которые представлены в ASTM E96; ISO 15496; BS 7209; JIS L1099; ISO 2528; ДСТУ 3672; ISO 11092; ASTM 1868.

Научная новизна. Проведен детальный анализ существующих методов определения паропрооницаемости текстильных материалов и систематизированы основные направления и перспективы исследований.

Практическая значимость. Приведенная в работе систематизация методов исследования паропрооницаемости текстильных материалов предоставляет возможность быстрого ориентирования в большом количестве методов и показателей для определения целесообразности использования той или иной методики в зависимости от задач исследования.

Ключевые слова: паропрооницаемость, методы исследования, текстильные материалы.

COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR MEASURING WATER VAPOR
PERMEABILITY PROPERTIES OF TEXTILES

ARABULI S.I.

Kyiv National University of Technologies and Design

Purpose. *Analysis of existing methods for measuring the vapor permeability of textile and its indicators to determine the appropriateness of using one or another technique depending on the research objectives.*

Methodology. *Analytical review and systematization of scientific and technical information about methods for studying vapor permeability.*

Findings. *The paper presents an analysis of standardized methods for studying vapor permeability - their features, advantages and disadvantages are noted. The analysis covers the techniques that are presented in ASTM E96; ISO 15496; BS 7209; JIS L1099; ISO 2528; DSTU 3672; ISO 11092; ASTM 1868.*

Originality. *A detailed analysis of existing methods for determining vapor permeability of textiles has been carried out, and the main directions and prospects of research have been systematized.*

Practical value. *The systematization of methods for studying vapor permeability of textiles makes it possible to quickly orientate in a large number of methods and indicators to determine the appropriateness of using one or another technique depending on the research tasks.*

Keywords: *vapor permeability, research methods, textile materials.*