

# МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВ ТЕКСТИЛЬНОЙ И ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Научная статья

УДК 677.017.636:677.075

EDN ILXJNW

doi 10.34216/2587-6147-2023-2-60-5-9

Антон Вячеславович Абрамов<sup>1</sup>

Александр Дмитриевич Клим<sup>2</sup>

Маргарита Всеволодовна Родичева<sup>3</sup>

Александр Сергеевич Дориомедов<sup>4</sup>

<sup>1,2,4</sup> Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), Москва, Россия

<sup>3</sup> Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева, г. Орел, Россия

<sup>1</sup> Ant-lin88@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7082-1344>

<sup>2</sup> alklim@lenta.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6188-2655>

<sup>3</sup> rodicheva.unpk@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1092-6141>

<sup>4</sup> smart\_bk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5092-4648>

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЛАГООТДАЧИ ТРИКОТАЖНЫХ ПОЛОТЕН ДЛЯ БАЗОВОГО СЛОЯ КОМПЛЕКТОВ ЗИМНЕЙ ОДЕЖДЫ

**Аннотация.** В статье рассмотрена проблема прогнозирования влагообмена текстильных материалов во влажном состоянии на примере трикотажных полотен бельевого назначения. На основе термодинамической аналогии процессов переноса тепла и влаги построена экспериментальная шкала потенциала влагопереноса эталонного тела. В результате исследования массообменной системы «образец – эталонное тело» получены массообменные характеристики нескольких трикотажных полотен. Получены термодинамические соотношения для расчета интенсивности влагоотдачи текстильных материалов в пакете одежды. Приведены результаты расчетов на примере выбранных образцов. Результаты расчетов позволили установить зависимость между плотностью потока влаги от образца и величиной потенциала влагопереноса. Установлены значимые различия между этими потоками. Полученные данные позволяют составить прогноз об эксплуатационной эффективности одежды при различных вариантах материала бельевого слоя.

**Ключевые слова:** трикотажные полотна, массообмен, влагоемкость, потенциал влагопереноса, влажное состояние, гигроскопическое состояние, интенсивность влагообмена

**Для цитирования:** Исследование процессов влагоотдачи трикотажных полотен для базового слоя комплектов зимней одежды / А. В. Абрамов, А. Д. Клим, М. В. Родичева, А. С. Дориомедов // Технологии и качество. 2023. № 2(60). С. 5–9. <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2023-2-60-5-9>.

Original Article

Anton V. Abramov<sup>1</sup>

Aleksandr D. Klim<sup>2</sup>

Margarita V. Rodicheva<sup>3</sup>

Aleksandr S. Doriomedov<sup>4</sup>

<sup>1,2,4</sup> Russian State University named after A. N. Kosygin (Technologies. Design. Art), Moscow, Russia

<sup>3</sup> Orel State University named after I. S. Turgenev, Orel, Russia

## STUDY OF MOISTURE RECOVERY PROCESSES OF KNITTED FABRICS FOR THE BASE LAYER OF WINTER CLOTHING SETS

© Абрамов А. В., Клим А. Д., Родичева М. В., Дориомедов А. С., 2023

**Abstract.** The article considers the problem of predicting the moisture exchange of textile materials in a wet state using the example of knitted fabrics for underwear. Based on the thermodynamic analogy of heat and moisture transfer processes, an experimental scale of the moisture transfer potential of a reference body was constructed. As a result of the study of the mass transfer system “sample – reference body”, the mass transfer characteristics of several knitted fabrics were obtained. Thermodynamic relations are obtained for calculating the intensity of moisture transfer of textile materials in a bag of clothes. The results of calculations are given on the example of the selected samples. The results of the calculations made it possible to establish the relationship between the moisture flux density from the sample and the value of the moisture transfer potential. Significant differences between these flows have been established. The data obtained make it possible to make a forecast about the operational efficiency of clothing with various options for the material of the linen layer.

**Keywords:** knitted fabrics, mass transfer, moisture capacity, moisture exchange potential, wet state, hygroscopic state, moist-exchange intensiveness

**For citation:** Abramov A. V., Klim A. D., Rodicheva M. V., Doriomedov A. S. Study of moisture recovery processes of knitted fabrics for the base layer of winter clothing sets. *Technologies & Quality*. 2023. No 2(60). P. 5–9. (In Russ.) <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2023-2-60-5-9>.

Во время активного отдыха при пониженных температурах возникает проблема своевременного отведения пота от тела человека без его накопления в комплекте одежды. В настоящее время эта задача решается методами конфекционирования пакета текстильных материалов.

Для достижения максимальной эксплуатационной эффективности комплекта одежды правила комплектования пакета материалов должны основываться на закономерностях влагопереноса в капиллярно-пористых коллоидных телах. В рамках теории массообмена показано, что влага перемещается по структуре текстильных материалов в парообразной и жидкой фазах [1]. В небольших воздушных объемах, например, в поровом пространстве объемных нетканых утеплителей, пар перемещается молекулярной диффузией. В пододежном пространстве, а также в значительных по объему воздушных прослойках перенос влаги осуществляется молярной диффузией. Эти явления наблюдаются, например, при испарении пота с поверхности тела в пододежное пространство. Проведенный обзор литературных источников показывает, что процессы паропереноса достаточно хорошо изучены [2–6].

Влагоперенос в жидкой фазе наблюдается при поглощении одеждой пота в зонах непосредственного контакта с телом, а также при конденсации паров влаги в результате снижения температуры пакета текстильных материалов. Как показывает анализ литературных источников, транспорт жидкой влаги в пакете материалов изучен в меньшей степени в сравнении с остальными механизмами переноса [7].

При этом большинство экспериментальных методов основаны на термодинамической аналогии между процессами переноса тепла и влаги, предложенной А. В. Лыковым [8]. В рамках этой идеи влагосодержание капиллярно-

пористого коллоидного тела, в том числе текстильных материалов, описывается следующей моделью:

$$u = b + c_m \Theta, \quad (1)$$

где  $u$  – влагосодержание капиллярно-пористого коллоидного тела, г/г;

$b$  – константа;

$c_m$  – удельная изотермическая влагоемкость тела, кг/(кг·°М);

$\Theta$  – потенциал влагопереноса, °М.

В уравнении (1) используется величина потенциала влагопереноса, который, по аналогии с понятием «температура», представляет собой математическую величину, характеризующую интенсивность движения жидкой влаги в системе капиллярно-пористых коллоидных тел. Шкалу потенциала влагопереноса получают относительно выбранного эталонного тела, как правило, фильтровальной бумаги. Для этого тела устанавливают реперные точки потенциала влагопереноса:  $\Theta_{s1} = 0$  °М в абсолютно сухом состоянии,  $\Theta_{s2} = 100$  °М при максимальном увлажнении.

Исследование проведено с использованием фильтровальной бумаги марки «Белая лента». Ее состояние с максимальным влагосодержанием получено после выдерживания в дистиллированной воде в свободном состоянии в течение  $60 \text{ мин} \pm 60 \text{ с}$ . Для определения величины удельного влагосодержания образцы выдерживались в сушильном шкафу при температуре  $(107 \pm 2)$  °С в течение 2,5 ч. При исследовании двадцати образцов выбранного эталонного тела величина удельного влагосодержания составила  $u_{s2} = (2,34 \pm 0,15)$  г/г.

Если принять, что удельная влагоемкость эталонного тела есть частная производная влагосодержания по потенциалу влагопереноса, то [8].

$$c_{m-э.м} = \left( \frac{\partial u}{\partial \Theta} \right)_T = \frac{u_{э2} - 0}{\Theta_{э2} - \Theta_э} = \frac{2,34 - 0}{100 - 0} = 0,23, \quad (2)$$

где  $c_m$  – удельная влагоемкость эталонного тела, г/°М;

$\partial u$  – изменение влагосодержания эталонного тела, г/г;

$\partial \Theta$  – изменение потенциала влагопереноса эталонного тела, вызванное изменением влагосодержания, °М.

Массообменные характеристики исследуемых материалов определяются по термодинамическим показателям массообменной системы «образец – эталонное тело». Если внешний массообмен этой системы исключен, то количество влаги, переносимой между ними, составит ( $\Delta M$ , г)

$$\Delta M = c_m M_o (\Theta_2 - \Theta_1), \quad (3)$$

где  $M_o$  – масса образца исследуемого материала в сухом состоянии, г;

$\Theta_1; \Theta_2$  – потенциалы влагопереноса образца и эталонного тела, °М;

$c_m$  – влагоемкость образца, г/°М.

Метод исследования массообменных характеристик текстильных материалов на основе этой закономерности разработан Ю. В. Светловым [9]. Им же получены данные о влагоемкости материалов для изготовления обуви. Однако этот метод не получил должного развития при исследовании текстильных материалов для теплозащитной одежды. По этой причине актуальной задачей является дальнейшее развитие метода и проведение исследований массообменных характеристик разнообразных текстильных материалов.

В рамках этой задачи нами исследованы следующие образцы трикотажа для бельевых изделий (табл.). Непосредственно контактируя с телом человека, базовый слой комплекта должен эффективно поглощать пот с поверхности кожи и без задержки транспортировать его к вышележащим слоям пакета одежды.

Т а б л и ц а

Характеристика исследуемых образцов

№ образца	Волокнистый состав	Переплетение	Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	Толщина, мм
3	Хлопчатобумажные волокна, 100 %	Кулирная гладь	146	0,43
2	Хлопчатобумажные волокна, 100 %	Кулирная гладь	262	0,618
1	Хлопчатобумажные волокна, 50 % Лавсановые волокна, 50 %	Кулирная гладь	226	0,728

При проведении эксперимента образцы помещались в емкость с дистиллированной водой на время 60 мин ± 60 с, после чего выдерживались на воздухе в течение 60 с. Далее они располагались между слоями эталонного тела (поз. 1, рис. 1а). Полученная массообменная система (поз. 3, рис. 1б) взвешивалась ( $M_{вл-сист}$ , г) и фиксировалась грузом (поз. 5) для моделирования давления слоев в пакете одежды. Масса груза подбиралась исходя из количества слоев одежды и поверхностной плотности материалов. Изоляция массообменной системы от окружающей среды обеспечена путем ее помещения в герметично закрывающиеся пакеты (поз. 4, рис. 1).

Время контакта образца с эталонным телом подбирается по критерию достижения термодинамического равновесия между ними. Согласно предварительным результатам, оно составляет 25...40 мин для различных текстильных материалов. Для трикотажного полотна бельевого назначения это время составляло 25 мин.

В состоянии термодинамического равновесия потенциал влагопереноса эталонного тела и образца будет одинаков и составит

$$\Theta_{э2} = \frac{M_{э2}}{c_m M_{эс}}, \quad (4)$$

где  $M_{э2}$  – масса эталонного тела после контакта с образцом, г;

$c_m$  – влагоемкость эталонного тела, г/°М;

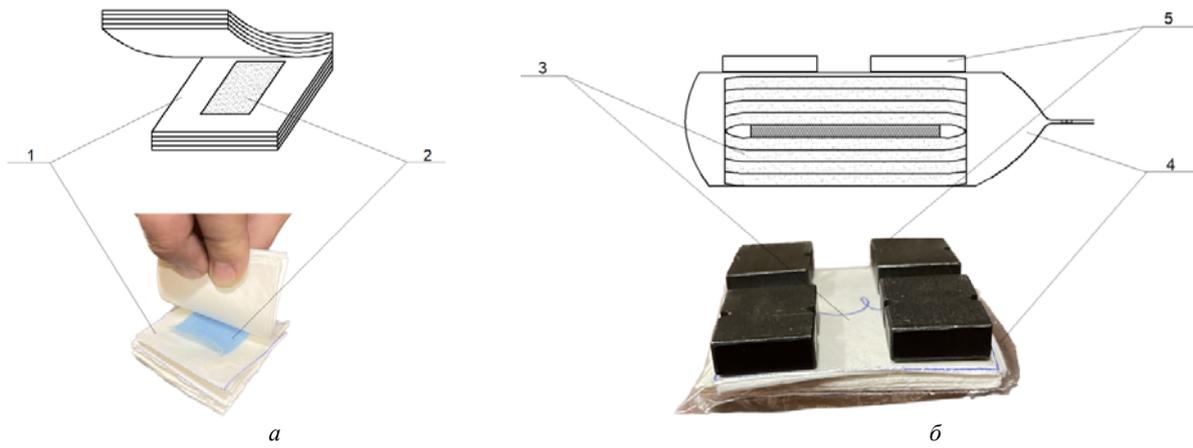
$M_{эс}$  – масса эталонного тела в сухом состоянии, г.

Эта величина позволяет вычислить влагоемкость исследуемого образца:

$$c_{m-o} = \frac{M_{o2}}{\Theta_{э2} M_{o1}}, \quad (5)$$

где  $M_{o2}$  – масса образца после контакта с эталонным телом, г;

$M_{o1}$  – масса образца в сухом состоянии, г.



**Рис. 1. Схема проведения экспериментальных исследований:**

а – схема размещения образца в эталонном теле; б – массообменная система, изолированная от окружающей среды;

1 – пачка эталонного тела; 2 – исследуемый образец;

3 – массообменная система; 4 – герметично закрывающийся пакет; 5 – груз

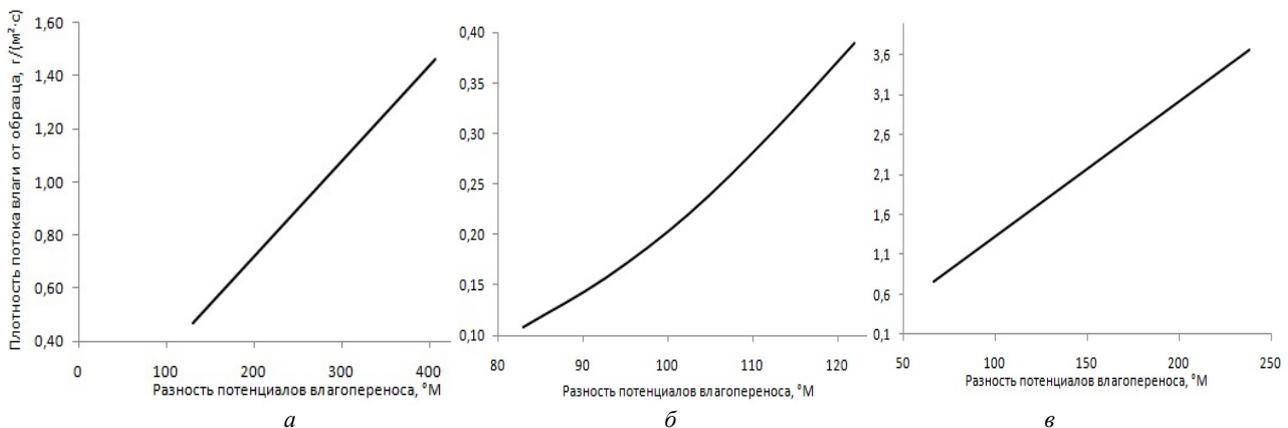
Влагоемкость исследованных образцов составила:  $c_{m-o_1} = 0,015 \text{ г/}^\circ\text{М}$ ;  $c_{m-o_2} = 0,028 \text{ г/}^\circ\text{М}$ ;  $c_{m-o_3} = 0,03 \text{ г/}^\circ\text{М}$ . Эти данные позволяют прогнозировать процессы влагоотдачи исследованных образцов в структуре пакета одежды.

Для этого определим границы диапазона потенциала влагопереноса, соответствующего влажному состоянию образца. В качестве нижней границы примем величину, рассчитанную для влагосодержания образца в гигроскопическом состоянии, которое получено по ГОСТ Р 57876–2017 [10]. В качестве верхней границы потенциала влагопереноса примем значение, определенное для максимального влагосодержания образца после выдерживания в дистиллированной воде в свободном состоянии в течение  $25 \text{ мин} \pm 60 \text{ с}$ .

Если предположить, что вышележащие слои пакета материалов не насыщены влагой, разность потенциалов влагопереноса между бельевым и промежуточными слоями равна потенциалу образца. Это позволяет определить

величину массы влаги, отдаваемой образцом при рассматриваемой разности потенциалов влагопереноса (уравнение (3)). Учитывая площадь образца, а также время его контакта с эталонным телом в эксперименте, можно получить зависимость между плотностью потока влаги и разностью потенциалов влагопереноса (рис. 2).

Согласно проведенным расчетам, при сопоставимой с аналогичными величиной влагоемкости, образец № 2 поглощает гораздо больше влаги, благодаря чему в его структуре формируются более высокие потенциалы влагопереноса. Прогнозируемая плотность потока влаги от образца № 2 к расположенным выше слоям пакета материалов также будет существенно выше. Таким образом, бельевое изделие из этого полотна будет своевременно поглощать влагу на поверхности тела человека, но в то же время высокое влагосодержание этого материала будет снижать эргономические показатели комплекта одежды.



**Рис. 2. Интенсивность влагоотдачи рассмотренных образцов:**

а – образец № 1; б – образец № 2; в – образец № 3

Представленный метод, основанный на термодинамической аналогии между процессами переноса тепла и влаги, позволяет исследовать массообменные характеристики текстильных материалов, а также является базой для

расчета интенсивности влагообмена в системе контактирующих текстильных материалов (например, пакетов одежды) с использованием достаточно простых термодинамических соотношений.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Haghi A. K. Heat & Mass Transfer in Textiles. Montreal, 2019. 133 p.
2. Ольшанский А. И., Котов А. А. Тепломассоперенос в процессе конвективной сушки тонких плоских влажных материалов // Вестник Витебского государственного технологического университета. 2020. № 1(38). С. 79–90.
3. Процессы сушки и термовлажностной обработки в текстильной и легкой промышленности / М. Г. Балыхин, К. Э. Разумеев, М. К. Кошелева, А. А. Захарова // Актуальные проблемы сушки и термовлажностной обработки материалов в различных отраслях промышленности и агропромышленном комплексе : сб. науч. ст. Первых Международных Лыковских научных чтений (Москва, 22–23 сентября 2015 г.). Курск : Университетская книга, 2015. С. 193–204.
4. Gibson P. W., Charmchi M. Modeling convection/diffusion processes in porous textiles with inclusion of humidity-dependent air permeability // International Communications in Heat and Mass Transfer. 1997. Vol. 24(5). P. 709–724.
5. Ghali K., Ghaddar N., Jones B. Empirical Evaluation of Convective Heat and Moisture Transport Coefficients in Porous Cotton Medium // Journal of Heat Transfer. 2002. Vol. 124(3). P. 530–537.
6. Gibson P. W. Modeling Heat and Mass Transfer from Fabric-Covered Cylinders // Journal of Engineered Fibers and Fabrics. 2009. Vol. 4(1). P. 1–8.
7. Haghi A. K. Mechanism of heat and mass transfer in moist porous materials // Jurnal Teknologi. 2002. Vol. 36(F). P. 1–14.
8. Лыков А. В. Теория сушки. М. : Энергия, 1968. 472 с.
9. Светлов Ю. В. Термовлажностные процессы в материалах и изделиях легкой промышленности // М. : Академия, 2006. 272 с.
10. ГОСТ Р 57876–2017. Материалы текстильные. Метод определения гигроскопичности. М. : Стандартинформ, 2017. 7 с.

#### REFERENCES

1. Haghi A. K. Heat&MassTransferinTextiles. Montreal. 2019. 133 p.
2. Olshansky A. I., Kotov A. A. Heat and mass transfer in the process of convective drying of thin flat wet materials. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Vitebsk State Technological University]. 2020;1(38):79–90. (In Russ.)
3. Balykhin M. G., Razumeev K. E., Kosheleva M. K., Zakharova A. A. Processes of drying and thermal and moisture treatment in the textile and light industry. Actual problems of drying and thermal and moisture treatment of materials in various industries and agro-industrial complex. Collection of scientific articles of the First International Lykovsky scientific readings. Kursk, Universitetskaya kniga Publ., 2015. P. 193–207. (In Russ.)
4. Gibson P. W., Charmchi M. Modeling convection/diffusion processes in porous textiles with inclusion of humidity-dependent air permeability. *International Communications in Heat and Mass Transfer*. 1997;24(5):709–724.
5. Ghali K., Ghaddar N., Jones B. Empirical Evaluation of Convective Heat and Moisture Transport Coefficients in Porous Cotton Medium. *Journal of Heat Transfer*. 2002;124(3):530–537.
6. Gibson P. W. Modeling Heat and Mass Transfer from Fabric-Covered Cylinders. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. 2009;4(1):99–107.
7. Haghi A. K. Mechanism of heat and mass transfer in moist porous materials. *Jurnal Teknologi*. 2002;36(F):1–14.
8. Lykov A. V. Theory of drying. Moscow, Energy Publ., 1968. 472 p. (In Russ.)
9. Svetlov Yu. V. Thermohumidity processes in materials and products of light industry. Moscow, Academy Publ., 2006. 272 p. (In Russ.)
10. *GOST R 57876–2017. Materialy tekstil'nye. Metod opredeleniya gigroskopichnosti* [State Standart 57876–2017. Textile materials. Method for determining hygroscopicity]. Moscow, Standartinform Publ., 2017. 7 p. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 17.01.2023  
Принята к публикации 10.05.2023