

**ВЛИЯНИЕ ПОДВИЖНОСТИ ВОЗДУХА НА ПРОЦЕСС ВЛАГОРЕГУЛИРОВАНИЯ
МНОГОСЛОЙНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ СТРУКТУР**

**INFLUENCE OF AIR MOBILITY ON THE PROCESS OF MOISTURE REGULATION OF
MULTILAYER TEXTILE STRUCTURES**

А.И. Сосновская, Н.В. Скобова, Н.Н. Ясинская
A.I. Sosnovskaya, N.V. Skobova, N.N. Yasinskaya

Витебский государственный технологический университет
(Республика Беларусь)

Vitebsk State Technological University (Republic of Belarus)

E-mail: kolbasnikowa2018@yandex.by, skobova-nv@mail.ru, yasinskaynn@rambler.ru

В работе представлены результаты исследования процесса влагопереноса при оценке интенсивности испарения капельной влаги с поверхности многослойных материалов структуры ткань/трикотаж при различных режимах подачи воздуха. Изучено влияние морфологии применяемых функциональных нитей в структуре многослойного материала на процесс испарения при различной скорости движения воздуха.

Ключевые слова: многослойный материал, функциональные нити, трикотажное полотно, кривые скорости испарения.

The paper presents the results of a study of the moisture transfer process when assessing the intensity of evaporation of droplet moisture from the surface of multilayer materials with a fabric/knitted structure under different air supply modes. The influence of the morphology of the functional threads used in the structure of the multilayer material on the evaporation process at different air speeds was studied.

Key words: multilayer material, functional yarns, knitted fabric, evaporation rate curves.

Регулируемое движение водяного пара с поверхности кожи в атмосферу через многослойный пакет материалов позволяет предотвращать накопление пота в пододежном пространстве. Управление влажностью - определяет уровень комфорта в эксплуатационных условиях носки. Функциональная защитная одежда должна обеспечить поддержку теплового баланса в широком диапазоне параметров окружающей среды (температура, подвижность воздуха) и активности тела за счет потоотведения и регулировки температуры тела [1].

Пот в виде капельной влаги при удалении с поверхности тела должен смачивать внутреннюю поверхность многослойного материала, а затем впитываться в его структуру и обеспечивать транспортировку влаги к наружной поверхности для испарения. Паровая влага должна проходить через отверстия между волокнами и нитями в слоях материала за счет его пористости.

Интенсивность потоотделения зависит от затрачиваемой человеком энергии, например, при обычной деятельности выделяется около 60 мл водяного пара в 1 час при постоянных условиях окружающей среды, умеренная ходьба - количество водяного пара составляет до 450 мл. в час. Во время активной физической нагрузки тело потеет и в повседневной одежде с содержанием хлопка образует «капкан из влаги». Это создает барьер для эффективной передачи избыточного тепла и приводит к повышению температуры тела и кожи выше 37 ° С, что увеличивает потоотделение [2, 3].

На кафедре экологии и химических технологий разработан многослойный текстильный материал (МТМ), состоящий из тканого и трикотажного полотен, соединенных между собой термопластичным клеем (порошок) на основе полиамидного сополимера способом термопрессования (рисунок 1). Лицевая сторона 1 – хлопкополиэфирная ткань (67/33% ПЭ/Х) поверхностной плотности 200 г/м², изнаночная сторона – двухслойное трикотажное полотно комбинированного переплетения на базе ластика целостной структуры. Полотно получено с

использованием полиэфирных функциональных нитей в слое, прилегающем к телу человека (поз.4 рис.1): нить с функцией управления влагой Quick Dry линейной плотности 18,7 текс (f144), микрофиламентная нить Soft 16,7 текс (f288), полая нить Thermo 16,7 текс (f96), а во втором слое, использованы полиэфирные традиционные нити PEC 16,7 текс (f48) (поз.3 рис.1). Слои в трикотажной структуре соединялись соединительными накладами. В результате сформированы образцы:

- образец 1 – ХПЭ/полотно Quick/PEC;
- образец 2 – ХПЭ/полотно Thermo/PEC;
- образец 3 – ХПЭ/полотно Soft/PEC.

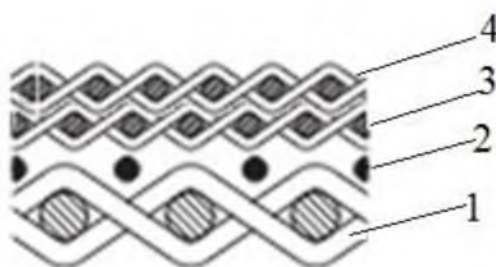


Рис. 1. Графическое изображение формируемой структуры МТМ: 1 – ткань; 2 – термопластичный клей; 3 – слой из полиэфирной нити в структуре трикотажного полотна; 4 – слой из функциональной нити в структуре трикотажного полотна

Процесс дублирования слоев проводили при температуре 160 °С в течение 15 секунд, согласно рекомендациям производителя.

Цель исследований – изучить влагорегулирующие свойства многослойных материалов для защитной одежды с использованием функциональных нитей, эксплуатируемой в условиях повышенной активности при постоянной температуре внешней среды и различной скорости движения воздуха.

Методика испытаний заключалась в следующем (рис. 2). Подготавливались образцы многослойного материала размером 10x10 см и выдерживались в нормальных климатических условиях (температура 21 °С и относительная влажность 65%) в течение 24 ч. Включали регулятор температуры нагревателя и вентилятора, чтобы температура металлической пластины стабилизировалась на уровне 37 ± 1 °С. Затем подготовленные пробы размещались на нагревательной пластине на 5 минут, чтобы позволить образцу уравновеситься до температуры металлической пластины, при этом сторона образца, которая должна была находиться рядом с кожей, была прижата к металлической пластине. Металлическую полосу помещали на край образца, ближайший к поверхности металлической пластины от вентилятора для исключения приподнятия образца при высокой подвижности воздуха. Затем установили требуемую скорость воздуха (0,5 м/с, 1 м/с, 1,5 м/с), наносили объем пота 0,3 мл на трикотажный слой из функциональной нити (поз.4 рис.1). Через равные промежутки времени определяли массу испарившейся жидкости, после чего рассчитывали скорость испарения жидкости с поверхности материала. Температуру образцов фиксировали с помощью термопары каждые 30 сек. до тех пор, пока температура ткани не достигла исходной температуры. Данный метод позволит провести сравнительный анализ механизма влагопереноса в структуре многослойных материалов с учетом специфики применяемой функциональной нити в структуре пакета и подвижности воздуха [4].

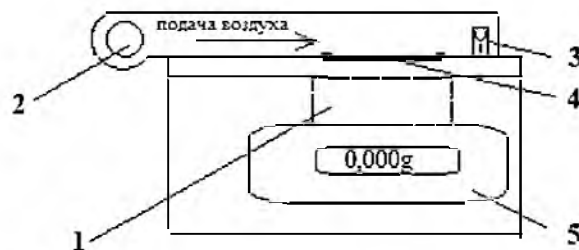


Рис. 2. Лабораторный стенд для оценки скорости испарения: 1 – нагревательная пластина, 2 – вентилятор, 3 - анемометр, 4 – образец; 5 – весы

Результаты исследований представлены на рисунках 3-4.

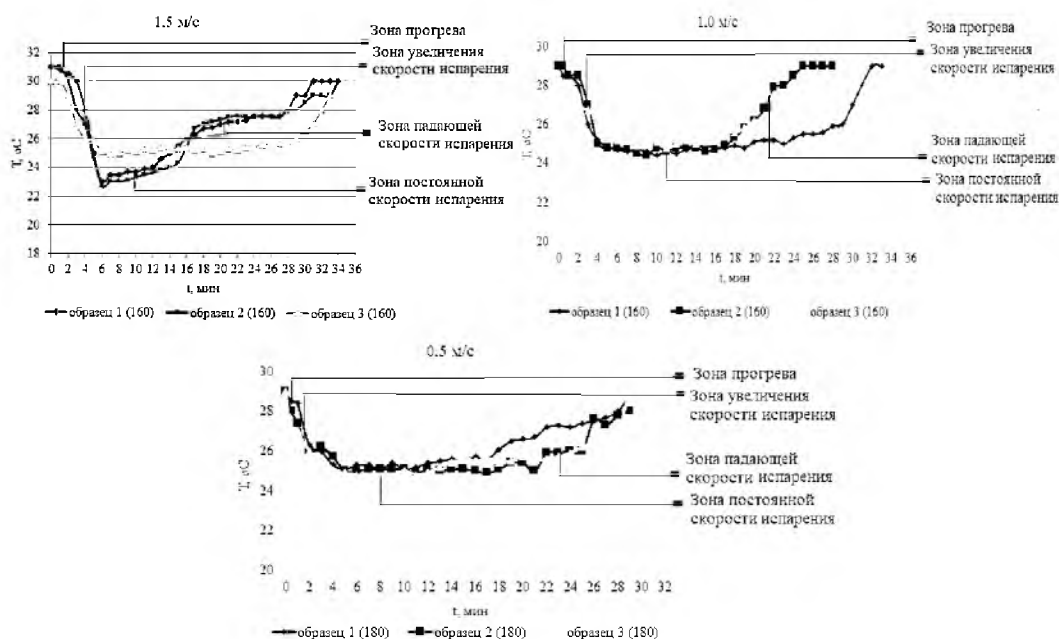


Рис. 3. Кинетические температурные кривые

На кинетических кривых зависимости температуры от времени испарения на образцах можно отметить наличие несколько зон влагопереноса. При высокой подвижности воздуха на поверхности образцов 1 и 2 не наблюдалось каких-либо значительных изменений температуры – фаза прогрева, происходит впитывание капли жидкости. Наиболее протяженная фаза прогрева у образца 1, имеющего в своей структуре нить Quick Dry с тетраканальным профилем поперечного сечения, обеспечивающим быстрое впитывание с образованием небольшого радиуса фронта впитывания.

После этого в течение некоторого времени происходит транспортировка жидкости от внутреннего слоя к внешнему, температура на поверхности образца начинает падать (фаза падения температуры), наступает зона увеличения скорости испарения. Градиент температуры на этом участке показывает наличие протяженного влагопереноса у образцов 1 и 2 при высокой подвижности воздуха (1,5 и 1 м/с). Короткая эта фаза отмечается у образца 3 с вложением микрофиламентной нити - высокая скорость поглощения [5, 6] способствует образованию большего радиуса смачивания, создавая большой фронт испарения пота, что способствует быстрому испарению. При малой скорости воздуха градиент температуры снижается у всех образцов.

Когда поверхность испарения насытилась парами пота, достигнуто равновесие между теплопередачей и испарением. На графике температурных кривых это фаза постоянной температуры - зона постоянной скорости испарения. Здесь одинаковое количество испаряющегося пота поглощает одинаковое количество тепла из окружающей среды,

поддерживая постоянную температуру. При низкой скорости движения воздуха длительность периода постоянной скорости испарения наибольшая из анализируемых для всех образцов.

С уменьшением степени насыщения поверхности испарения парами влаги происходит повышение температуры – фаза повышения температуры, образуется зона снижения скорости испарения. Продолжительным этот период является для образца 1 независимо от скорости движения воздуха. Благодаря большому радиусу смачиваемой поверхности образец 3 характеризуется кратковременным периодом падающей скорости испарения во всех сериях опытов.

Построены кривые скорости испарения при различных скоростях движения воздуха (рис. 4).

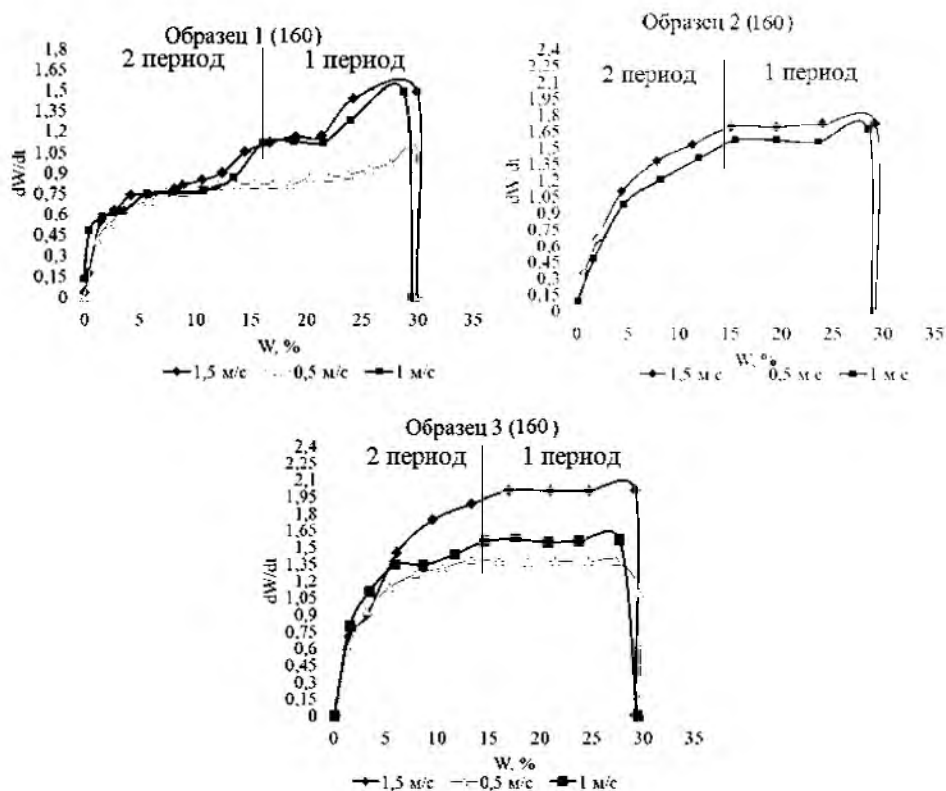


Рис. 4. Кривые скорости испарения

На первой стадии процесса наблюдается период постоянной скорости испарения влаги (область удаления свободной влаги) - I период испарения. Наличие «горба» на этом участке у образцов указывает на формирование фазы прогрева, что подтверждается температурными кривыми (рис.3). Испаряемая влага внутри материала перемещается в виде жидкости (капиллярная влага). Над поверхностью влажного материала образуется слой насыщенного пара ($\theta = 100\%$), находящегося в равновесии с водой.

Максимальной скоростью испарения при критической влажности в первом периоде сушки - обладает образец 3 с вложением микрофиламентной нити в прилегающий к телу человека слой, что объясняется наличием большого числа микропор в полотне, способствующих увеличению скорости движения фронта поверхностной пропитки полотна при смачивании, увеличивая площадь испарения. Более длительный первый период сушки у материалов с вложением нити с функцией управления влагой. Морфология поверхности нити способствует удерживанию влаги в боковых капиллярах, снижая скорость испарения.

По мере обезвоживания материала наружная поверхность не успевает смачиваться малым количеством подводимой изнутри влаги. Она становится сухой, ее температура повышается. Скорость испарения влаги из материала непрерывно уменьшается, наступает 2 период - линейно убывающей скорости испарения. В этом периоде сначала испаряется капиллярно-сконденсированная, затем связанная влага. Для анализируемых материалов при испарении характерно разделение второго периода сушки на две временные зоны и

образование двух слоев испарения в материале (у греющей и открытой поверхности). Наблюдается углубление этих зон и разделение слоя материала на две области — образованную капиллярно-сконденсированной влагой (первоначальный участок на кривой второго периода) и связанной водой. Увеличение подвижности воздуха способствует повышению скорости испарения.

Анализ проведенных исследований позволяет сделать следующие выводы:

- образцы многослойного текстильного материала имеют четыре фазы испарения: прогрева, роста скорости испарения, постоянной скорости испарения и падающей скорости испарения.

- наличие в структуре материала функциональной нити Quick Dry приводит к увеличению длительности фазы прогрева и фазы роста скорости испарения, обусловленную повышенным сорбционным эффектом применяемой нити с формированием малой площади испарения.

- наличие микрофиламентной нити в составе многослойного текстильного материала приводит к образованию большого радиуса смачивания за счет роста капиллярной силы в микропористой структуре, увеличивая тем самым скорость поглощения и формированию большого фронта испарения. Поэтому материал характеризуется кратковременной зоной прогрева и длительным периодом постоянной скорости испарения.

- повышение подвижности воздуха увеличивает градиент температур в фазе роста скорости испарения, сокращает период постоянной скорости испарения и увеличивает продолжительность периода падающей скорости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стефанова, Е.Б. Нормирование влажности в материалах для одежды / Е.Б., Стефанова, И.В. Черунова // Материалы X Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум». – Шахты, 2018.
2. Cherunova I.V. Study of the structural and acoustic properties of clothing materials for thermal protection of human / I.V. Cherunova, S.A. Kolesnik, S.V. Kurenova, Y.V. Eremina, A.V. Merkulova, P.V. Cherunov // International Journal of Applied Engineering Research, 2015. - V. 10. - № 19. - P. 40506-40512.
3. Влияние синтетических тканей на человека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.liveinternet.ru/users/luch-nik/post386440256>. – Дата доступа: 15.09.2023.
4. Mandal, S. Characterization of Sweat Drying Performance of Single Layered Thermal Protective Fabrics Used in High-Risk Sector Workers' Clothing / Mandal, S., Chowdhury, I.Z., Mazumder, N.-U.-S., Agnew, R.J., Boorady, L.M. Polymers 2022, 14 (24), 5393.
5. Скобова, Н.В. Исследование капиллярных свойств двухслойных трикотажных структур из функциональных нитей / Скобова Н.В., Ясинская Н.Н., Воробьева А.С. // Сборник материалов Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием «Инновационное развитие техники и технологий в промышленности». – Москва, 2023. – С. 159-162.
6. Скобова Н.В. Оценка функциональных свойств модифицированных полиэфирных нитей и текстильных материалов из них / Скобова Н.В., Ясинская Н.Н. // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2023. № 1 (403). – С. 69-75.