INTERNATIONAL JOURNAL OF TECHNOLOGY AND ACADEMIC RESEARCH

ISSN: 2224-6878 | Pakistan Volume 6, No. 6.

IF: 15.9 | 2026 http://waerasia.org/index.php/ijtar

THEORETICAL FOUNDATIONS OF HEAT RETENTION IN OUTERWEAR AND THE ROLE OF BICOMPONENT MATERIALS: A CASE STUDY OF THE WOOL–SINTEPON SYSTEM

Nasiba F. Nazarova
PhD researcher, Namangan State Technical University
e-mail: nasibanazarova0611@gmail.com

Salikh Sh. Tashpulatov
Doctor of Technical Sciences, Professor, Tashkent
Institute of Textile and Light Industry
Professor of the Department "Fashion and Design"
e-mail: ssht61@mail.ru

Abstract. This paper examines the theoretical foundations of heat retention in outerwear and the influence of bicomponent materials (particularly the wool–sintepon system) on thermal insulation properties. The heat retention mechanism is mainly associated with the reduction of convection and thermal conductivity due to air layers within the material structure, where the fibrous structure plays a crucial role. Natural wool has high hygroscopicity, elasticity, and air-retaining ability, which ensures effective heat retention. Synthetic insulation material—sintepon—is characterized by light weight, shape stability, and low thermal conductivity. The combination of these two materials as a bicomponent system provides optimal thermal protection by integrating the advantages of both natural and synthetic fibers. The study also analyzes interlayer heat transfer, moisture migration, and the effect of material structure on thermal resistance. The results show that garments based on the wool–sintepon system provide a high level of thermal comfort in low-temperature conditions.

Keywords: heat retention, outerwear, bicomponent material, wool, sintepon, thermal conductivity, thermal insulation, fiber structure, moisture migration, thermal comfort.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕПЛОЗАЩИТНОЙ ВЕРХНЕЙ ОДЕЖДЫ И РОЛЬ БИКОМПОНЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ (НА ПРИМЕРЕ СИСТЕМЫ ШЕРСТЬ–СИНТЕПОН)

Аннотация. В данной работе исследуются теоретические основы процесса сохранения тепла в верхней одежде и влияние бикомпонентных материалов (в частности, системы шерсть–синтепон) на теплоизоляционные свойства. Механизм сохранения тепла в основном связан со снижением конвекции и теплопроводности за счёт воздушных прослоек в структуре материала, при этом важную роль играет волокнистая структура. Натуральная шерсть обладает высокой гигроскопичностью, эластичностью и способностью удерживать воздух, что обеспечивает эффективное сохранение тепла. Синтетический утеплитель — синтепон — отличается лёгкостью, стабильностью формы и низкой теплопроводностью. Комбинация этих двух материалов в виде бикомпонентной системы обеспечивает оптимальную тепловую защиту, объединяя преимущества натуральных и синтетических волокон. В работе также анализируются теплообмен между слоями, миграция влаги и влияние структуры материала на тепловое сопротивление. Результаты показывают, что изделия на основе системы шерсть–синтепон обеспечивают высокий уровень теплового комфорта в условиях низких температур.

ISSN: 2224-6878 | Pakistan Volume 6, No. 6.

IF: 15.9 | 2026 http://waerasia.org/index.php/ijtar

Ключевые слова: сохранение тепла, верхняя одежда, бикомпонентный материал, шерсть, синтепон, теплопроводность, теплоизоляция, структура волокна, миграция влаги, термический комфорт.

USTKI KIYIMLARDA ISSIQLIK SAQLASHNING NAZARIY ASOSLARI VA BIKOMPONENT MATERIALLARINING ROLI (SHERST-SINTEFON TIZIMI MISOLIDA)

Annotatsiya. Ushbu ishda ustki kiyimlarda issiqlik saqlash jarayonining nazariy asoslari va bikomponent materiallarning (ayniqsa, sherst–sintepon tizimi misolida) issiqlik izolyatsiyasiga ta’siri o‘rganiladi. Issiqlik saqlash mexanizmi asosan material tarkibidagi havo qatlamlarining konveksiya va issiqlik o‘tkazuvchanlikni kamaytirishi bilan bog‘liq bo‘lib, tolali tuzilma bu jarayonda muhim rol o‘ynaydi. Tabiiy jun (sherst) yuqori gigroskopiklik, elastiklik va havo saqlash xususiyatiga ega bo‘lib, issiqlikni samarali ushlab turadi. Sintetik to‘ldiruvchi material – sintepon esa yengilligi, shaklni barqaror saqlashi va past issiqlik o‘tkazuvchanligi bilan ajralib turadi. Ushbu ikki materialning kombinatsiyasi bikomponent tizim sifatida optimal issiqlik himoyasini ta’minlaydi, ya’ni tabiiy va sun’iy tolalarning afzalliklarini birlashtiradi. Tadqiqotda shuningdek, qatlamlar orasidagi issiqlik almashinuvi, namlik migratsiyasi va material strukturasining issiqlik qarshiligiga ta’siri tahlil qilinadi. Natijalar shuni ko‘rsatadiki, sherst–sintepon tizimi asosida yaratilgan kiyimlar past harorat sharoitida yuqori issiqlik komfortini ta’minlaydi.

Kalit so‘zlar: issiqlik saqlash, ustki kiyim, bikomponent material, sherst, sintepon, issiqlik o‘tkazuvchanlik, issiqlik izolyatsiyasi, tola tuzilishi, namlik migratsiyasi, termik komfort.

Введение. Главная функция верхней одежды — защита человеческого тела от воздействия низких температур внешней среды. Человеческий организм постоянно вырабатывает тепло и передает его в окружающую среду; если этот баланс нарушается, уровень теплового комфорта снижается, и под воздействием холода могут происходить негативные изменения в активности организма [14–16]. Поэтому вопрос контроля теплообмена через одежду имеет большое научное и практическое значение [5, 14].

Этот процесс тесно связан со сложными физическими явлениями — теплопередачей путем теплопроводности, конвекции и излучения, а также переносом влаги и воздушными потоками [14–18]. Материал одежды должен не только удерживать тепло, но и отводить избыточную влагу наружу и поддерживать стабильный внутренний микроклимат [5, 9]. В противном случае накопление влаги увеличивает теплопроводность и ускоряет теплопотери [5, 16].

Эффективность теплоизоляционной одежды во многом зависит от состава материала, морфологических свойств волокон, их плотности, пористости и взаимного расположения [1, 3, 4]. Воздушные слои, образующиеся между волокнами, являются основным элементом теплоизоляции, поскольку воздух обладает низкой теплопроводностью [3, 6, 14]. Поэтому структурная организация материала, т.е. диаметр волокон, их эластичность и пространственное расположение, играют решающую роль в процессе сохранения тепла [3, 8].

В последние годы в текстильной промышленности широко используются двухкомпонентные волокна и многослойные системы для обеспечения высокоэффективной теплоизоляции. Такие системы позволяют достичь оптимальных результатов за счет сочетания волокон с различными свойствами. В частности, сочетание

ISSN: 2224-6878 | Pakistan Volume 6, No. 6.

IF: 15.9 | 2026 http://waerasia.org/index.php/ijtar

натуральных и синтетических волокон обеспечивает одновременно сохранение тепла, отведение влаги и механическую прочность.

В этом отношении системы на основе двухкомпонентных волокон занимают особое место в современных теоретических подходах. Они позволяют не только улучшить теплоизоляцию, но и повысить легкость, комфорт и эксплуатационные свойства одежды. В частности, научно и практически актуальны комбинации, такие как система шерсть-синтепон, поскольку они могут быть использованы для создания инновационной верхней одежды, обеспечивающей высокий уровень теплового комфорта.

Основная часть: Передача тепла в верхней одежде происходит посредством трех основных физических механизмов: 1. Проводимость (теплопередача): Этот процесс относится к прямой передаче тепла через материал. То есть тепло перемещается с горячей стороны на холодную. В волокнистых материалах проводимость зависит от следующих факторов: теплопроводность волокна — некоторые волокна (например, шерсть) плохо проводят тепло, содержание воздуха — чем больше воздуха, тем ниже теплопроводность, плотность — плотный материал проводит тепло быстрее.

Важным аспектом является то, что пористые структуры имеют низкую теплопроводность, поскольку воздух очень плохо проводит тепло. Поэтому толстая и «мягкая» одежда лучше сохраняет тепло.

2. Конвекция (теплопередача за счет движения воздуха): Этот процесс происходит за счет движения воздуха в пространствах между волокнами. Если воздух движется свободно → тепло быстро теряется, если воздух ограничен → тепло удерживается. В хороших теплоизоляционных материалах воздух «заперт» и не может двигаться. [14–18].

3. Излучение (тепловое излучение): Тепло передается инфракрасными лучами. Это невидимая форма энергии. В волокнистых материалах излучение уменьшается следующими способами:

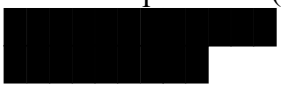
• Многослойность — каждый слой уменьшает излучение
• Неравномерное расположение волокон — рассеивает лучи
• Отражающие свойства — отражает тепло

Эффективность волокнистых теплоизоляторов в основном определяется их пористостью.

Понятие пористости: Пористость — это отношение объема пустот (воздуха) внутри материала к общему объему.

Диаграмма:

Низкая пористость (плотный материал)



→ меньше воздуха → тепло быстро уходит

Высокая пористость (пористый материал)



→ больше воздуха → тепло лучше сохраняется.

Сравнение: Результат уровня пористости

Высокая пористость Больше воздуха → высокая теплоизоляция

Низкая пористость Меньше воздуха → повышенные теплопотери

Зазоры между волокнами бывают двух типов: 1. Закрытые поры (наиболее эффективные)

• Воздух «заперт» внутри

ISSN: 2224-6878 | Pakistan Volume 6, No. 6.

IF: 15.9 | 2026 http://waerasia.org/index.php/ijtar

• Конвекция практически отсутствует
• Наилучшая теплоудерживающая структура
[o] [o] [o]
[o] [o]
(каждая o — это закрытая воздушная капсула)
2. Открытые поры (менее эффективны)
• Воздух свободно циркулирует
• Тепло быстро уходит
o — o — o — o
| | | |
o — o — o — o
(воздух свободно циркулирует)

Теоретически, наиболее идеальным теплоизолятором является материал с высокой пористостью, закрытыми воздушными слоями и многослойной нерегулярной структурой.

Преимущества двухкомпонентных волокон: Двухкомпонентные волокна образуются путем объединения двух или более полимеров с различными физико-химическими свойствами в одно волокно. Такая структура придает материалу более широкие функциональные возможности, чем традиционные однокомпонентные волокна. В частности, роль двухкомпонентных волокон в обеспечении теплоизоляции, механической прочности и эксплуатационной стабильности не имеет себе равных. Их теоретические преимущества заключаются в следующем:

1. Структурная стабильность: Структура «ядро-оболочка», широко используемая в двухкомпонентных волокнах, обеспечивает функциональную дифференциацию между внутренним и внешним слоями материала. Сердцевина обычно состоит из полимера, обеспечивающего механическую прочность, в то время как оболочка выполняет дополнительные функции, такие как защита, эластичность или теплоизоляция. Благодаря такой структуре:

• волокна обладают высокой устойчивостью к внешним механическим воздействиям и деформациям;

• повышается способность материала сохранять пористую структуру в течение длительного времени;

• воздушные слои между волокнами не исчезают в результате сжатия, что обеспечивает стабильность теплоизоляции.

В результате верхняя одежда из таких материалов практически не теряет своих теплоизоляционных свойств даже при длительном использовании.

2. Эластичность и сохранение объема: Еще одним важным типом двухкомпонентных волокон является структура «бок о бок», в которой два разных полимера расположены параллельно в волокне. Поскольку эти полимеры имеют разные показатели усадки или эластичности, волокно самопроизвольно изгибается под воздействием внешних факторов, образуя спиральную или волнистую форму. Это явление обеспечивает следующие преимущества:

• увеличивается естественная объемность (пышность) материала;

• между волокнами образуются стабильные воздушные слои;

• после сжатия материал быстро восстанавливает свою первоначальную форму (восстановительное свойство);

• повышаются теплозащитные характеристики одежды при сохранении ее легкости.

Именно по этой причине двухкомпонентные волокнистые материалы долго сохраняют свой объем и не снижают теплоизоляционные свойства.

ISSN: 2224-6878 | Pakistan Volume 6, No. 6.

IF: 15.9 | 2026 http://waerasia.org/index.php/ijtar

3. Теплоотвод: Благодаря сочетанию термофизических свойств различных полимеров в двухкомпонентных волокнах, можно эффективно контролировать теплопередачу. Поскольку каждый компонент обладает различной теплопроводностью, теплоемкостью и поведением по отношению к инфракрасному излучению, в общей системе создается сложный, но полезный тепловой баланс. В результате:

• снижается коэффициент теплопроводности;
• замедляется скорость теплового потока;
• тепло, выделяемое человеческим телом, сохраняется дольше;
• минимизируются потери тепла из внешней холодной среды.

Кроме того, некоторые двухкомпонентные волокна обладают влагоотводящими свойствами, что дополнительно повышает тепловой комфорт, поскольку эффективность теплоизоляции выше в сухой среде.

В целом, материалы на основе двухкомпонентных волокон являются одним из наиболее перспективных направлений в создании современной теплосберегающей верхней одежды, сочетающей такие важные свойства, как структурная стабильность, эластичность и теплоотвод.

Теоретическая модель теплового баланса в системе верхней одежды: Система верхней одежды рассматривается как сложная физическая система, контролирующая теплообмен между человеческим телом и внешней средой. Главная цель этой системы — поддержание стабильной температуры тела и минимизация воздействия внешней среды.

1. Уравнение теплового баланса: Производство тепла (метаболические процессы) и теплопотери в организме человека постоянно находятся в равновесии:

$Q_{gen} = Q_{loss} + Q_{storage}$

или в упрощенной форме:

$Q_{balance} = Q_{production} - Q_{loss}$

Где:

• $Q_{production}$ — тепло, производимое телом
• Q_{loss} — тепло, теряемое через одежду и окружающую среду
• $Q_{storage}$ — тепло, запасенное в теле

В идеальном случае:

$Q_{storage} \approx 0$

т.е. температура тела стабильна.

2. Основные механизмы теплопотери: Теплопотери в системе верхней одежды происходят за счет следующих процессов:

• Проводимость - передача тепла через материал
• Конвекция - выделение тепла через воздушный поток
• Излучение - потеря в виде инфракрасной энергии
• Испарение - потеря тепла через пот

Система одежды ограничивает эти процессы в различной степени.

3. Теоретические требования к идеальной системе одежды: Теоретически, идеальная верхняя одежда должна выполнять следующие функции:

• Минимизировать теплопотери
• Выводить избыточное тепло наружу (вентиляция)
• Поддерживать стабильный микроклимат тела
• Регулировать влажность

Этот процесс называется «динамической терморегуляцией».

4. Основные параметры, контролирующие тепловой баланс: Эффективность верхней одежды определяется следующими физическими параметрами: 1. Толщина материала (d)

ISSN: 2224-6878 | Pakistan Volume 6, No. 6.

IF: 15.9 | 2026 http://waerasia.org/index.php/ijtar

• С увеличением толщины теплопроводность уменьшается
• Если материал слишком толстый, избыточному теплу трудно выйти
2. Пористость (пористость, ε)
• Высокая пористость → удерживает больше воздуха
• Воздух является лучшим теплоизолятором
3. Количество слоев (n)
• Многослойная система → потери тепла постепенно уменьшаются
• Каждый слой действует как отдельный «барьер»

Обсуждение: Теоретические анализы показывают, что эффективность удержания тепла в верхней одежде зависит не только от типа используемого материала, но и от его структурной организации и физических свойств. В частности, важными факторами удержания тепла являются пористость материала, расположение волокон, плотность и способность удерживать воздух.

Система шерсть-синтепон, сформированная на основе двухкомпонентных волокон, обладает высокой эффективностью, обеспечивая оптимальную пористость [6, 8, 10]. Такая структура создает внутри материала слои неподвижного воздуха. Известно, что воздух является плохим проводником тепла, поэтому он значительно снижает теплопотери.

Вывод: Процесс удержания тепла в верхней одежде имеет многофакторную и сложную теоретическую основу, которая определяется взаимодействием одновременно трех основных механизмов теплопередачи – теплопроводности, конвекции и излучения. В этом процессе решающее значение имеют внутренняя структура материала, в частности его пористость, способность удерживать воздушные слои, а также физико-механические и тепловые свойства волокон. Поскольку именно воздушные слои служат основным изолятором, удерживающим тепло.

Система шерсть-синтепон, сформированная на основе двухкомпонентных волокон, представляет собой передовую теоретическую и практическую модель, позволяющую более эффективно контролировать этот процесс. В такой системе высокие теплоудерживающие свойства натуральных волокон (например, шерсть/синтепон) сочетаются с прочностью, эластичностью и способностью сохранять стабильную форму синтетических волокон. В результате материал не только эффективно удерживает тепло, но и становится легким, прочным и пригодным для длительного использования. В то же время особая структура двухкомпонентных волокон формирует оптимальную пористую среду внутри материала, уменьшая конвективные потери тепла. [9, 10, 12].

Этот подход служит важной методологической платформой для разработки научно обоснованных решений в технологии производства верхней одежды. Он открывает широкие возможности для исследований, направленных на создание нового поколения теплоудерживающих материалов, улучшение существующих конструкций и повышение энергоэффективности. В результате значительно расширятся возможности проектирования высокофункциональной и конкурентоспособной верхней одежды, обеспечивающей комфортный микроклимат для человеческого тела.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахмедов А.А. Основы материаловедения текстильной промышленности. – Ташкент: Фан, 2010. – 256 с.
2. Рахимов Р.Р. Технология материалов легкой промышленности. – Ташкент: Узбекистон, 2015. – 312 с.
3. Юлдашев Ш.Ю. Физика и механика волокнистых материалов. – Ташкент: Фан ва технология, 2012. – 284 с.
4. Турсунов С.Т. Структура и свойства текстильных тканей. – Ташкент: Тафаккур, 2018. – 298 с.

ISSN: 2224-6878 | Pakistan Volume 6, No. 6.

IF: 15.9 | 2026 http://waerasia.org/index.php/ijtar

5. Каримов М.К. Процессы тепло- и влагообмена в текстильных материалах. – Ташкент: Фан, 2016. – 275 с.
6. Абдукаримов Б.А. Теплофизические свойства текстильных материалов. – Ташкент: Фан ва технология, 2019. – 243 с.
7. Усмонов Г.Х. Технология волокон и пряжи. – Ташкент: Укитувчи, 2014. – 267 с.
8. Холмирзаев Д.Х. Свойства натуральных и синтетических волокон. – Ташкент: Тафаккур, 2017. – 254 с.
9. Нурматов Е.Н. Гигиенические свойства материалов для одежды. – Ташкент: Фан ва технология, 2020. – 286 с.
10. Жораев К.Б. Инновационные материалы в легкой промышленности. – Ташкент: Инновацион ривожланиш нашриёти, 2021. – 301 с.
11. Химики Узбекистана: сборник научных трудов. – Ташкент: Фан ва технология, 2014. – 368 с.
12. Научные труды Ташкентского института текстильной и легкой промышленности. – Ташкент: ТИТЛП, 2018. – Вып. 12. – С. 45–112.
13. Публикации Академии наук Республики Узбекистан. – Ташкент: Академия наук РУз, 2019. – Вып. 4. – С. 25–87.
14. Incropera F.P., DeWitt D.P., Bergman T.L., Lavine A.S. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. – 6th ed. – Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2007. – 997 p.
15. Holman J.P. Heat Transfer. – 10th ed. – New York: McGraw-Hill Education, 2010. – 688 p.
16. Çengel Y.A., Ghajar A.J. Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications. – 5th ed. – New York: McGraw-Hill Education, 2015. – 924 p.
17. Лыков А.В. Теория тепло- и массопереноса. – Москва: Энергия, 1968. – 560 с.
18. Özisik M.N. Heat Conduction. – 2nd ed. – New York: John Wiley & Sons, 1993. – 692 p.