

ЛОНСЬКИЙ ВІТАЛІЙ

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0009-0008-8578-3003>e-mail: lonskiy.vitaliy@ukr.net**КАРМАЛІТА АНАТОЛІЙ**

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0003-4397-2988>e-mail: akarmalita89@gmail.com

СИСТЕМА РІВНОМІРНОГО РОЗПОДІЛУ СИНТЕТИЧНОГО ПУХОВОГО НАПОВНЮВАЧА В КАМЕРІ ТЕКСТИЛЬНОГО ВИРОБУ СПОСОБОМ РІЗНОНАПРАВЛЕНИХ СТРУМЕНІВ ПОВІТРЯ

У статті розглядається процес наповнення камер деталей зимового верхнього одягу синтетичним пухом за допомогою струменя стиснутого повітря. Аналізуються основні проблеми нерівномірного розподілу наповнювача, зокрема його агрегація, електростатичні ефекти та вплив турбулентності потоку. Запропоновано модель пристрою, який автоматизує рівномірний розподіл синтетичного пуху в камері деталі за допомогою керованих короточасних імпульсів повітря. Наведено основні фізичні параметри процесу та рівняння руху частинок пуху в повітряному потоці. Впровадження такого пристрою дозволить оптимізувати виробництво, зменшити витрати часу та покращити якість утеплювальних матеріалів.

Ключові слова: синтетичний пух, стиснуте повітря, аеродинамічний опір, автоматизація, турбулентний потік, рівномірний розподіл.

LONSKYI VITALII, KARMALITA ANATOLII

Khmelnitskyi National University

A SYSTEM FOR THE UNIFORM DISTRIBUTION OF SYNTHETIC DOWN FILLER IN THE CHAMBER OF A TEXTILE PRODUCT USING MULTIDIRECTIONAL AIR JETS

The article investigates the problem of uneven distribution of synthetic down filler in the chamber of a garment part prior to the quilting operation. The filling process occurs using specialized equipment with compressed air. After passing through the nozzle, the microfibers of synthetic down clump together under the influence of compressed air within the chamber, significantly complicating further processing and necessitating additional manual preparation before quilting. An innovative solution is proposed in the form of a device to automate the distribution of the filler using multidirectional jets of compressed air with programmable pulses. Mounted on the nozzle of a down-filling machine, the device ensures uniform distribution of the filler by precisely adjusting the direction and pressure of the air based on the required particle displacement distance. The physical properties of synthetic down, such as its lightness, tendency to aggregate, and electrostatic effects, are analyzed, along with its aerodynamic characteristics: the mass-to-surface-area ratio, chaotic behavior in laminar flow, and the formation of vortex flows. Particular attention is given to the impact of turbulence, which aids in loosening the down but can lead to particle sedimentation if excessively intense. The process is modeled using principles of fluid and gas mechanics, specifically equations of aerodynamic drag and force equilibrium, taking into account air velocity and pressure, as well as the mass and density of the down. The device's development aims to enhance production efficiency by reducing the time and costs associated with part preparation. Future research involves creating a prototype and conducting experimental validation to confirm theoretical calculations and assess the practical applicability of the development in real production conditions.

Keywords: synthetic down, compressed air, aerodynamic resistance, automation, turbulent flow, uniform distribution.

Постановка проблеми у загальному вигляді та

її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

При виготовленні верхнього одягу з синтетичним пухом, важким та трудомістким процесом являється процес наповнення камери деталі одягу. Наповнення відбувається на спеціалізованому обладнанні за рахунок задування стиснутим повітрям наповнювача в попередньо підготовлену камеру деталі. При проходженні пуху через сопло машини, він збивається в грудку не розходячись по камері деталі, що надалі унеможлиблює роботу з такою деталлю без додаткової ручної підготовки.

Нами досліджується процес розподілу синтетичного пуху по камері деталі за допомогою контрольованого, різнонаправленого, струменя стиснутого повітря. Такий процес дозволить виключити, або мінімізувати додаткову підготовку деталі перед операцією стібання. Головною проблемою є визначення переміщення частинок синтетичного пуху за допомогою струменів стиснутого повітря по камері деталі.

Виклад основного матеріалу

Для утеплення верхнього зимового одягу використовуються різні наповнювачі, один з найрозповсюдженіших є синтетичний пух[1]. Процес наповнення камери деталі відбувається за рахунок спеціалізованого обладнання, яке працює за рахунок стиснутого повітря. Мікро волокна синтетичного пуху під дією стиснутого повітря при проходженні через тонке сопло машини збиваються в грудку рис. 1.

Задля автоматизації процесу розподілу, ми пропонуємо розробити пристрій, який дозволить за рахунок різнонаправлених струменів стиснутого повітря, програмованими короточасними імпульсами стиснутого повітря, розподілу синтетичного наповнювача по об'єму камери відразу після операції наповнення. Пристрій встановлюється на сопло пухо-набивної машини і виглядає як наконечник з різнонаправленими соплами. Для рівномірного розподіленням будуть вмикатись сопла в тому напрямку

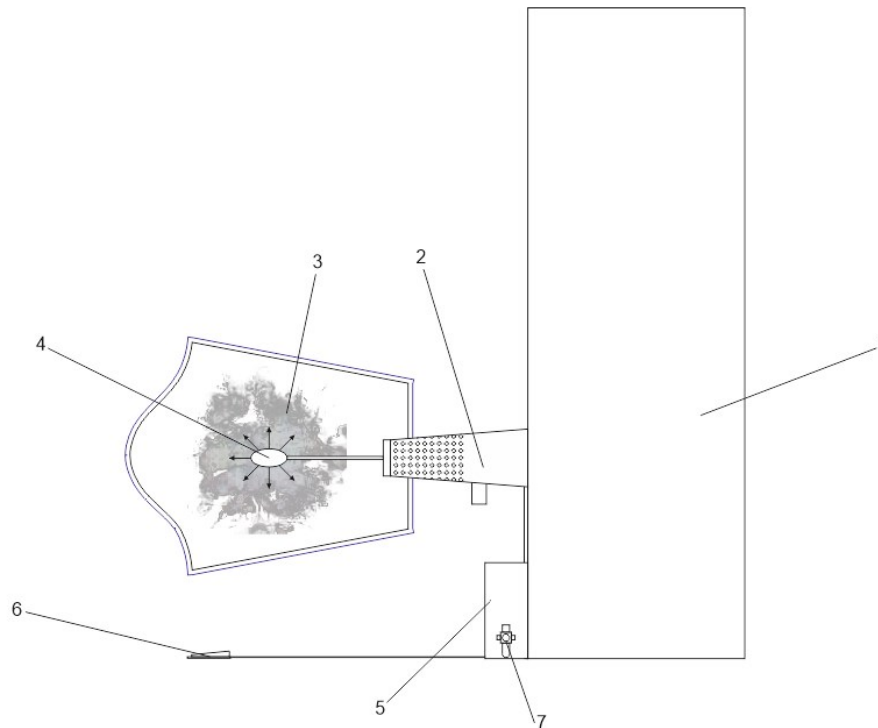
в якому потрібно перемістити частинки пуху, та з величиною тиску відповідно до відстані переміщення частинок пуху.



Рис.1. Камера деталі наповнена пухом



Рис.2. Камера деталі з рівномірно розподіленим пухом



1. Пухо-набивна машина
2. Сопло машини через яке подається пух під дією стиснутого повітря
3. Камера деталі з задутим пухом
4. Сопло пристрою через яке має короткочасно подаватись направлене повітря для розподілення пуху по камері деталі
5. Блок керування пристроєм
6. Педаль увімкнення подачі повітря
7. Регулятор тиску з манометром

Рисунок 3 – Схема пухо-набивної машини з пристроєм для розподілення [6]

Для переміщення по камері деталі частинок пуху, за допомогою різнонаправлених струменів повітря, потрібно враховувати його фізичні характеристики.

Основним характеристиками синтетичного пухового наповнювача [5] є:

- Легкість. Штучний пух виготовляється з поліефірних волокон, які мають малу масу та великий об'єм, завдяки чому він добре утримує повітря, забезпечуючи теплоізоляцію.
- Здатність до агрегації (злипання). При підвищеній вологості, або від накопичення статичного заряду, мікрОВОлокна синтетичного пуху можуть злипатись між собою.
- Електростатичний ефект. Синтетичні волокна штучного пуху мають підвищену здатність накопичувати статичний заряд, що в свою чергу може призводити до злипання між собою, або прилипання до трубопроводів при транспортуванні повітряним потоком.

МікрОВОлокна синтетичного наповнювача мають складну геометричну форму, за рахунок чого мають специфічну поведінку в потоці стиснутого повітря. Для досягнення рівномірного розподілу частинок по камері деталі, потрібно враховувати закони аеродинаміки та вплив турбулентності.

Основні аеродинамічні властивості синтетичного пухового наповнювача:

- Відношення маси до площі поверхні
- Погано прогнозовані рухи в ламінарному потоці через хаотичні взаємозв'язки між волокнами.
- Через дрібні волокна можуть утворюватися вихрові потоки

Також потрібно враховувати вплив турбулентності на розподіл частинок [2]. При русі стиснутого повітря через форсунки виникає турбулентний потік, який сприяє більш рівномірному

переміщенню пуху, також турбулентні вихори будуть розпушувати частинки пуху та зменшувати злипання частинок між собою. Проблемаю може бути надмірна турбулентність яка може спровокувати осідання частинок на стінках камери.

Побудова та розрахунок такої системи зводиться до опису динаміки потоку повітря, взаємодії з пухом і його переміщення в середовищі. Для цього використовують принципи механіки рідин і газів, а також елементи гідродинаміки та аеродинаміки [3].

Основні фактори які потрібно врахувати:

– Швидкість потоку повітря v - один з основних параметрів, що визначає ефективність переміщення пуху.

– Тиск повітря p - тиск, що створюється для подолання опору повітря і переміщення пуху.

– Маса пуху m і густина пуху $\rho_{\text{пх}}$

– Аеродинамічний опір — опір повітря, який надається частинкам пуху під час їх переміщення.

Частинки пуху можна моделювати як малі тверді частинки в потоці повітря, для яких діє сила аеродинамічного опору. Прискорення частинок пуху можна описати рівнянням [4]:

$$m \cdot a = F_{\text{повітря}} - F_{\text{опір}}$$

де:

m — маса частинки пуху,

a — прискорення частинки пуху,

$F_{\text{повітря}}$ — сила, що створюється потоком повітря (залежить від швидкості потоку і напрямку),

$F_{\text{опір}}$ — сила опору, яка залежить від аеродинамічних властивостей пуху (враховує розмір, форму, та інші характеристики).

Аеродинамічний опір можна описати через рівняння Стокса (для малих частинок) або рівняння для турбулентних потоків (для більших часток):

$$F_{\text{опір}} = \frac{1}{2} C_d \rho_{\text{повітря}} A v^2$$

де:

C_d — коефіцієнт аеродинамічного опору (залежить від форми та розміру частинки),

$\rho_{\text{повітря}}$ — густина повітря,

A — площа поперечного перерізу частинки пуху,

v — швидкість потоку повітря.

Рівняння рівноваги: Якщо передбачається, що потік повітря має сталу швидкість і частинки пуху досягли стабільного положення в потоці, можна встановити рівновагу між силою, яку надає потік повітря, і силою опору, що діє на частинку пуху. Це дозволяє визначити характер руху частинки пуху, зокрема його швидкість у потоці.

Взаємодія частинок пуху між собою: У реальних умовах часто відбувається взаємодія між частинками пуху, що може спричинити зміну траєкторій їх руху через сили згруповання або відштовхування. Цю взаємодію можна описати через систему рівнянь для кожної частинки в потоці, з урахуванням відстані між частинками та їх маси.

Висновки

При виготовленні зимового верхнього одягу з синтетичним пуховим наповнювачем один з найскладніших та трудомістких процесів виробництва є наповнення камери деталі пуху з подальшим його розстібуванням. За рахунок складнощів роботи з синтетичним штучним наповнювачем виникає проблема з його рівномірним розподілення по камері деталі. Механізація цього процесу дозволить значно зменшити час та вартість виготовлення одиниці товару.

Запропоновано модель пристрою для рівномірного розподілення синтетичного пухового наповнювача по камері деталі, за допомогою різнонаправлених короточасних імпульсів струменів повітря.

Враховуючи складні аеродинамічні властивості синтетичного пуху, для подальшого розрахунку буде створено прототип пристрою та проведені експериментальні дослідження.

Література

1. Механічна технологія та устаткування швейних виробництв. Лабораторний практикум для студентів спеціальностей “Обладнання легкої промисловості та побутового обслуговування”, “Технологія швейних виробів”. Частина 3 / П. Г. Капустенський, Е. А. Манзюк, О. С. Поліщук, С. П. Лісевич. – Хмельницький: ХНУ, 2009. – 104 с.

2. Халатов А. А., Мочалін Є. В., Димитрієва Н. Ф. Основи теорії примежового шару: навчальний посібник для студентів спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали». – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019.

3. Завойко Б. М., Жук В. М. (ред.) Технічна механіка рідин і газів: основні теоретичні положення та задачі: навчальний посібник для студентів інженерно-технічних спеціальностей. – Львів: Новий світ – 2000, 2004. – 119 с.

4. Водолазська О. Г., Подлесний С. В., Іскрицький В. М. Теоретична механіка. Динаміка. Динаміка матеріальної точки: навчальний посібник для студентів всіх спеціальностей. – Краматорськ: ДДМА, 2012. – 103 с.

5. Textiles for cold weather apparel / Edited by J. T. William. – Woodhead Publishing Limited, 2009. – 410 p. (*Woodhead Publishing in Textiles: Number 93*).

6. Технічна творчість: збірник наукових праць / укл.: Скиба М. Є., Поліщук О. С., Романець Т. П. – Хмельницький: ХНУ, 2023. – № 7. – С. 78–79.

References

1. Mekhanichna tekhnolohiia ta ustatkuvannia shveinykh vyrobnytstv. Laboratornyi praktykum dlia studentiv spetsialnostei "Obladnannia lehkoi promyslovosti ta pobutovoho obsluhovuvannia", "Tekhnolohiia shveinykh vyrobiv". Chastyna 3 / P. H. Kapustenskyi, E. A. Manziuk, O. S. Polishchuk, S. P. Lisevych. – Khmelnytskyi: KhNU, 2009. – 104 s.

2. Khalatov A. A., Mochalin Ye. V., Dymytriiyeva N. F. Osnovy teorii pryvezhovoho sharu: navchalnyi posibnyk dlia studentiv spetsialnosti 105 «Prykladna fizyka ta nanomaterialy». – Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho, 2019.

3. Zavoiko B. M., Zhuk V. M. (red.) Tekhnichna mekhanika ridyn i haziv: osnovni teoretychni polozhennia ta zadachi: navchalnyi posibnyk dlia studentiv inzhenerno-tekhnichnykh spetsialnostei. – Lviv: Novyi svit – 2000, 2004. – 119 s.

4. Vodolazska O. H., Podliesnyi S. V., Iskrytskyi V. M. Teoretychna mekhanika. Dynamika. Dynamika materialnoi tochky: navchalnyi posibnyk dlia studentiv vsikh spetsialnostei. – Kramatorsk: DDMA, 2012. – 103 s.

5. Textiles for cold weather apparel / Edited by J. T. William. – Woodhead Publishing Limited, 2009. – 410 p. (*Woodhead Publishing in Textiles: Number 93*).

6. Tekhnichna tvorchist: zbirnyk naukovykh prats / uкл.: Skyba M. Ye., Polishchuk O. S., Romanets T. P. – Khmelnytskyi: KhNU, 2023. – № 7. – S. 78–79.