

УДК 687

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ МІКРОХВИЛЬОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ ВОВНЯНОЇ ПРЯЖІ В УМОВАХ ТЕКСТИЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ

В.О. ПРИВАЛА

Хмельницький національний університет

Найважливіша галузь легкої промисловості – текстильна, включає бавовняні, вовняні і лляні підприємства, що виготовляють тканини, нитки, пряжу та ін. Вовняна промисловість України (одна з найстаріших підгалузей текстильної промисловості і виробляє 7,0 % усіх тканин), здійснює первинну обробку вовни, виготовляє пряжу, тканини та вироби з неї. Основний вид сировини – натуральна овеча вовна як власного, так й імпортного виробництва. На цю промисловість працюють великі підприємства в Чернігові, Донецьку, Кривому Розі, Одесі, Сумах. Проте сучасна технологія очищення вовни на вітчизняних текстильних підприємствах лишається багатостадійною та енерговитратною, що впливає на якість і кінцеву собівартість продукції [1].

Тому метою досліджень є створення енергозберігаючої технології очищення вовни за рахунок використання електромагнітного поля надвисокої частоти (НВЧ) для удосконалення процесу обробки вовни-сировини на вітчизняних текстильних підприємствах.

Застосування високочастотної (ВЧ) енергії для сушіння різних предметів і речовин не є новим. Цей принцип вже декілька десятиліть знаходить застосування для сушки дерева, продуктів харчування, паперу та ін. У порівнянні зі звичайним способом сушіння (наприклад, при конвекційному сушінні, коли тепло подається на матеріал у вигляді гарячого повітря), при високочастотній сушці тепло виникає всередині матеріалу, який сушать. Це означає, що в ВЧ-полі процес сушіння текстильного волокна починається не з його поверхні, а з середини, і поступово розвивається у напрямку до зовнішньої поверхні. Нагрівання в ВЧ сушарці, в порівнянні з іншими способами, відбувається швидко (до 5 хвилин). Разом з цим потрібно вказати, що її недоліком є те, що температура в зоні робочої камери місцями є нерівномірною і може перевищувати 100 °С. Це пов'язано з тим, що всередині поволоки вовни, в результаті утворення парових прошарків, може створюватися більш високий внутрішній тиск, ніж атмосферний. Тому температура може досягати 120-130 °С, що призводить до небажаного перегріву вовни.

Використання електричного поля надвисоких частот в поєднанні з відцентровими силами є новим і мало вивченим напрямом наукових досліджень. Тому, в даній публікації, пропонується до розгляду саме така технологія сушіння вовни і можливість її використання в умовах вітчизняних текстильних підприємств. Пік патентних винаходів у галузі НВЧ сушіння припав на кінець 70-х років минулого століття, коли в ряді високо економічно розвинених країн, таких як США, Великобританія, Японія, Німеччина, був запатентований ряд технологій НВЧ сушки продуктів харчування, вулканізації гумових камер, сушки паперу, склеювання деревних плит і так далі. Однак висока вартість НВЧ генераторів робила зазначені технології економічно не вигідними. І тільки на початку 90-х років минулого сторіччя, завдяки здешевленню технології виробництва НВЧ обладнання, використання поля понад високих частот (1450 МГц) отримало новий імпульс розвитку. Така тенденція зберігається і досі. В наукових роботах Е. Окрес, Г.

Пюшнера (США), Ф.Л. Альтер-Песецекого, В.Є. Бровченкова, А.С. Корьєва (Росія), Л.І. Водотовки, М.П. Березненка, В.М. Скрипника, В.В. Яковлева (Україна) та інших узагальнено світовий і вітчизняний досвід розробки та використання технологій, в основу яких покладено використання НВЧ частоти.

Постановка задачі

Для проведення досліджень використана діюча на вітчизняних текстильних підприємствах технологічна послідовність обробки вовни-сирцю. Вона складається з ряду основних і допоміжних виробничих етапів, які перераховані нижче.

1. Кількісне і якісне приймання вовни.
2. Сортування вовни за видами.
3. Сортування вовни в немитому вигляді по сортам.
4. Подача вовни мийним апаратам (на навантажувачі).
5. Додавання до вовни живильника-розпушувача (тріпальна машина).
6. Мийка в п'яти ваннах: перша ванна (розчин соди для замочування вовни); друга і третя ванни (розчин мила і соди); четверта ванна (мильний розчин); п'ята ванна (полоскання).
7. Віджимання вовни.
8. Сушка вовни в сушильній машині.
9. Транспортування по вентиляційних трубах на упаковку (вичісування і вилежування вовни 24 години).
10. Сортування готової продукції.
11. Визначення якісних показників по залишковій вологості:
 - тонка вовна = 12...19 %
 - груба вовна = 10 ... 19 %
 - жирна вовна = 0,5 ... 1,15 %
 - луги = 0,27 %
 - рослинні і мінеральні домішки = до 4 %.
12. Контроль якості.
13. Транспортування готової продукції на склад.

Детальний аналіз вище викладеного технологічного процесу дозволив зробити однозначний висновок, що найбільш трудомісткими і енергоємним є етапи № 6, № 7 і № 8. У зв'язку з цим є доцільним оптимізувати діючу технологію обробки вовни за рахунок поєднання процесу її прання та сушіння (етапи № 6, № 7, № 8) в одному процесі (етапі).

Для вирішення цього завдання пропонується використовувати відцентрові сили (які виникають в центрифугі) і НВЧ-випромінення в сукупності. Ідея полягає в тому, щоб замочування, віджимання та сушка вовни здійснювати на універсальній багаторежимній установці з центрифугою, яка знаходиться в полі НВЧ.

Викладення основного матеріалу

До основних особливостей і переваг НВЧ нагріву слід віднести наступне [2]:

- здатність проникати на значну глибину в об'єкти, що обробляються;
- відсутність контакту з теплоносієм;
- безінерційність процесу нагрівання;
- високий ККД перетворення НВЧ поля в тепло, яке виділяється в об'єкті нагрівання.

Тобто, головна перевага обробки вовни в електромагнітному полі надвисокої частоти полягає у високій швидкості нагріву і скорочення енерговитрат.

Останнім часом інтенсивно проводяться наукові дослідження з використання електрофізичних методів з метою скорочення тривалості процесу теплової обробки. Нагрівання в НВЧ полі дозволяє значно скоротити тривалість теплової обробки, підвищити якість продукції, що випускається, зменшити площу виробничих цехів підприємств і поліпшити санітарно-гігієнічні умови праці.

Технологічні процеси в машинах барабанного типу засновані на принципі динамічного взаємодії матеріальних систем, що поєднують рух барабана і виробів, які піддають обробленню. При цьому на матеріальну рухоми із прискоренням систему діють: відцентрова сила і сила тяжіння, а також сила інерції при зміні швидкості відносного руху обертання барабану. У кожній точці об'єктів, що обробляються, масою m , дія зазначених сил є талою. У сукупності всі ці сили визначають напрям і характер руху даної матеріальної точки.

Рух відцентрової сили і сили тяжіння характеризується відомим співвідношенням критерію Фруда або фактором поділу [3]:

$$\Phi = \frac{F_{ц}}{F_{г}} = \frac{m\omega^2 r}{mg} = \frac{\omega^2 r}{g}, \quad (1)$$

де ω – кутова швидкість обертання барабану;

r – радіальна відстань від осі обертання до матеріальної точки.

Матеріальна точка з масою m набуває відносний рух в барабані в бік результуючого прискорення. Результуюча сила $\vec{F} = \vec{F}_{ц} + \vec{F}_{г}$ у відносному русі точки визначає силову взаємодію з барабаном у визначенні сили опору P_c і характеризує ефект поділу взаємодіючих систем (виріб-барабан) при даному факторі поділу Φ . Рівняння руху оброблюваної точки в цьому випадку можна представити як:

$$P_{де} = F \geq P_m, \quad (2)$$

де $P_{де}$ – сила, яка спрямована в бік руху точки.

Рух матеріального потоку (миючий розчин і виробів, що обробляються) залежить від частоти обертання барабана. Умовно виділяють чотири режими: лавиноподібний при $\Phi \ll 1$, лавино-водоспадний при $\Phi < 1$, водоспадний (критичний) при $\Phi = 1$ і закритичний при $\Phi \gg 1$. Застосовуючи основний фактор, а також і фактори, що впливають на режим руху потоку, можна одержати необхідні змішані або близькі до граничних режими обробки об'єкта, найкращі для протікання процесу. Так, зі зростанням частоти обертання барабана, лавиноподібний режим руху через змішаний (лавино-водоспадний) переходять у водоспадний. При досягненні так званих критичних значень частоти обертання, частина вовни починає обертатися разом з барабаном, не торкаючись його стінок. При подальшому ж збільшенні частоти обертання вовна притиснеться до стінок барабану, а сила тертя, яка впливає на поверхню забруднення вовни, а також відцентрова сила обертання барабану, сприяють зрушенню забруднення і видалення його разом з миючим розчином. Умови зсуву забруднення можна представити у вигляді [3]:

$$\frac{P_3}{S_3} \leq \sigma_{зсув} = \frac{P_c}{P_3}, \quad (3)$$

де P_3 – сила зчеплення, прикладена до забруднення з боку виробу;

S_3 – площа зчеплення забруднення з виробом;

$\sigma_{зсув}$ – механічне напруження зсуву;

P_c – сила, яка протидіє руху виробу в рідині.

НВЧ поле дозволяє нагріти робоче середовище (миючий розчин) і вовну до потрібної температури, а відцентрова сила обертання барабану сприяє видаленню забруднення. Видалення рідини з мокрої вовни виконується після проведення прання вовни в миючому розчині. Віджимання, що передує сушці, є більш економним за сушку, так як на одне віджимання витрачається значно менше енергії і часу. У процесі віджимання з вовни видаляється лише капілярна рідина, яка найменш міцно пов'язана з нею.

Для маси матеріалу, що містить рідину, можна записати наступне рівняння:

$$m_{\text{вм}} = m_{\text{см}} + m_{\text{рід}}, \quad (4)$$

де $m_{\text{вм}}$ – маса вологого матеріалу;

$m_{\text{см}}$ – маса абсолютно сухого матеріалу; $m_{\text{рід}}$ – маса рідини.

Визначають відносну і абсолютну вологість матеріалу за рівняннями:

$$\varphi = \frac{m_{\text{рід}}}{m_{\text{вм}}} \cdot 100, \quad (5)$$

$$\varphi_a = \frac{m_{\text{рід}}}{m_{\text{см}}} \cdot 100, \quad (6)$$

Звідси:

$$\varphi_a = \frac{\varphi}{100 - \varphi} \cdot 100, \quad (7)$$

$$\varphi = \frac{\varphi_a}{100 + \varphi_a} \cdot 100, \quad (8)$$

Під вологовмістом розуміють масу рідини, яка знаходиться в 1 кг сухого матеріалу. Процес віджимання центрифуги може бути умовно розділений на два етапи. На першому етапі, по мірі наростання швидкості обертання ротора, волокна вовни набувають ущільненого стану, унаслідок чого під впливом стискаючого навантаження від них відділяється рідина, яка знаходиться в проміжках між волокнами. Процес відділення рідини в цей період здійснюється подібно до процесу фільтрування через пористу перегородку. Під час другого періоду віджимання, в пори волокон вовни проникає повітря. На другому етапі відділення рідини відбувається осадженням під дією гідростатичного тиску відцентрового віджимання. При цьому рідина в проміжках між капілярами вовни перетікає з шарів вовни до стінок ротора центрифуги. В результаті вовна по краях має більш високу вологість (65–75%), ніж по осі обертання центрифуги (30–35%). Середня кінцева вологість виробу складає 45–50 % і визначається за формулою:

$$\varphi = \frac{m_{\text{вол. вир.}} \cdot m_o}{m_{\text{вол. вир.}}} \cdot 100, \quad (9)$$

де $m_{\text{вол. вир.}}$ – маса вологого виробу; m_o – маса виробу після віджимання.

Кінцева вологість матеріалу залежить від виду матеріалу та товщини його шару, тривалості віджимання, початкової температури та виду обробки. Основний параметр, що впливає на кінцеву вологість вовни, є чинник поділу, який визначається за формулою [3]:

$$\varphi = \frac{\omega^2 R_{сер}}{g}, \quad (10)$$

де ω – кутова швидкість обертання ротора;

$R_{сер}$ – середній радіус центру тяжіння маси виробу;

$$R_{сер} = \frac{(P_n + P_p)}{2}, \quad (11)$$

де R_n – початковий радіус маси виробу в роторі;

R_p – внутрішній радіус ротора.

Продуктивність центрифуги визначають за формулою:

$$\pi = \frac{m_c}{T_u}, \quad (12)$$

де T_u – цикл роботи центрифуги;

$$T_u = \tau_3 + \tau_1 + \tau_2 + \tau_T + \tau_p, \quad (13)$$

де τ_3, τ_p – час на завантаження та розвантаження;

τ_1, τ_2 – тривалість відповідно першого і другого періодів віджимання;

τ_T – тривалість гальмування ротора.

Цикл роботи центрифуги триває 8–30 хвилин в залежності від масиви вовни, що завантажуються. Перевагою зневоднення в центрифугі є те, що вовну не піддають посиленому механічному впливу, що не спричиняє зниження її міцності. Математична модель сушіння вовни в НВЧ полі при центрифугуванні детально викладена в [4].

Висновки

Вищевикладене теоретичне обґрунтування чищення шляхом поєднання відцентрових сил і НВЧ поля дозволить оптимізувати діючу технологію обробки вовни, за рахунок поєднання процесу її прання та сушіння. Здійснене теоретичне обґрунтування мікрохвильової технології очищення вовняної пряжі дозволяє розробити макет обладнання для здійснення прання та сушіння вовни в електромагнітному полі надвисокої частоти.

Література

1. Вовняна промисловість України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://ukrkniga.org.ua/ukrkniga-text/842/17>
2. Альтер-Песоцкий Ф.Л. Применение СВЧ энергии в текстильной промышленности / Ф. Л. Альтер-Песоцкий, Л. И. Островский. – К. : Текстильная промышленность. – 1975. – № 9. – С. 78–89.
3. Лебедев В. С. Технологические процессы машин и аппаратов в производствах бытового обслуживания / Лебедев В. С. – М. : Легпром, 1991. – С. 36–45.
4. Розробка мікрохвильової технології очищення вовняної пряжі та створення обладнання : звіт про НДР : 2Б-1997 / Хмельницький нац. ун-т ; кер. В.М. Скрипник ; викон.: В.О. Привала [та ін.]. – Хмельницький, 1998. – 65. – № ДР 097V016013.