

Методи досліджень і вимірювальні прилади

УДК 621.317

Здоренко В., д-р техн. наук, проф. (НТУУ «КПІ»)

Прилад для безконтактного вимірювання товщини плівки для теплиць

Розглянуто методи та прилади безконтактного вимірювання товщини плівок для теплиць безпосередньо у ході технологічного процесу їх виробництва. Показана можливість використання акустичного безконтактного методу.

Ключові слова: безконтактне вимірювання, товщина плівки, акустичний метод.

Суть проблеми. У теперішній час для теплиць застосовуються різні види полімерних плівок, найбільш поширеними з яких є поліетиленова та полівініл-

хлоридна (ПВХ).

При цьому ПВХ плівка має низку переваг порівняно з поліетиленовою:

1. ПВХ плівка з використанням спеціальних добавок має властивість затримувати та перетворювати шкідливе сонячне випромінювання, переводячи його в іншу частину спектру, що знижує ризик опіків рослин. Також ці добавки роблять саму плівку стійкою до впливу ультрафіолетового випромінювання.

2. Висока міцність та опір розриву.

3. З часом така плівка не мутнішає, що позитивно впливає на розвиток рослин та забезпечує підвищення врожаю на 30 – 35 %.

4. ПВХ плівка «дихає», завдяки чому у теплиці створюється потрібний температурний режим, рослини не перегріваються у спекотні дні.

5. Властивість затримувати до 95 % інфрачервоного випромінювання дозволяє максимально вирівняти денну та нічну температуру, захищаючи рослини від заморозків.

6. Така плівка є більш довговічною, її можна використовувати до 4 – 5 сезонів не знімаючи з каркасу на зиму. Навіть з урахуванням вищої ціни застосування ПВХ плівки є економічно більш доцільним.

Одним з основних параметрів полімерних плівок, які впливають на їх споживчі та фізико-механічні властивості є товщина. Допуск щодо товщини для різних видів плівок є різним та складає від ± 12 до ± 20 % від її номінального значення. При цьому великий розкид товщини плівки не дозволяє отримати однакові властивості плівки по площі поверхні теплиці та отримати надійне з'єднання після склеювання або зварювання плівки.

Таке відносно велике поле допусків щодо товщини пояснюється нестаціонарністю технологічного процесу виробництва плівки, впливом на товщину готової плівки не тільки параметрів формувальних агрегатів, які визначають значення товщини (зазор, швидкість формування плівки, температура та ін.), а й якості вихідної сировини, а також відсутністю достатньо точних, надійних та простих в експлуатації засобів вимірювання товщини полімерної плівки, які дозволяють проводити вимірювання поточного значення товщини готової полімерної плівки безпосередньо у ході технологічного процесу її виробництва.

Зараз на виробництві згідно з ГОСТ 17035-86 «Пластмассы. Методы определения толщины пленок и листов» використовуються контактні методи вимірювання товщини, які розділяються на методи А та Б.

Метод А передбачає визначення товщини плівок механічним скануванням. При цьому за товщину плівки приймають відстань між вимірювальними поверхнями пристрою в момент торкання поверхні плівки. Для вимірювання методом А використовуються контактні пристрої (оптикатори, мікрокатори, індикатори часового типу та інші), які відрізняються ціною поділки, діапазоном вимірювання товщини, похибкою та вимірювальним зусиллям. У результаті взаємодії вимірювального наконечника контактної пристрою з поверхнею контрольованої плівки, відбувається її деформація. Проведені дослідження деформації полімерних плівок показали [1], що похибка вимірювання товщини контактними пристроями сягає 12 – 20 %, суттєво перевищуючи необхідні значення, які складають 4 – 7 %.

Метод Б передбачає визначення товщини полімер-

них плівок гравіметричним методом, за якого значення товщини h плівки визначають за виразом:

$$h = \frac{m}{S \cdot \rho}, \quad (1)$$

де m – маса зразка; S – площа зразка; ρ – об'ємна щільність матеріалу зразка.

Для визначення товщини плівки як за методом А, так і за методом Б необхідно вирізати зразки, тобто порушувати цілісність плівкового полотна, а потім склеювати полотно в місці взяття зразка. Однак сортність готової полімерної плівки залежить від довжини куска між склейками. Наприклад, рулони ПВХ плівки вищого сорту взагалі не повинні мати склейок. Крім того, контактні методи не дозволяють проводити оперативне вимірювання товщини плівки та її коригування безпосередньо у ході технологічного процесу, оскільки перед вимірюванням товщини зразки необхідно кондиціонувати не менше 1 години при температурі $23 \pm 2^\circ\text{C}$ та відносній вологості $50 \pm 5\%$.

Таким чином, основними недоліками контактних методів вимірювання товщини полімерної плівки є низька точність вимірювання, а також неможливість проведення вимірювання товщини безпосередньо у процесі її виробництва.

Мета дослідження: визначити метод та розробити прилад для безконтактного вимірювання товщини плівки для теплиць.

Результати досліджень. Проведений порівняльний аналіз безконтактних методів вимірювання товщини полімерних плівок (оптичного, радіохвильового, емнісного, радіоізотопного, акустичного) показав доцільність використання акустичного методу вимірювання. Це обумовлено відносною простотою випромінювання та прийому акустичних коливань, достатньо високою точністю вимірювання (що обумовлено відсутністю впливу оптичного забруднення та електромагнітного випромінювання на результат вимірювання товщини цим методом), простотою налаштування та обслуговування вимірювальної апаратури.

Подамо полімерну плівку у вигляді плоского шару товщини h і розглянемо проходження крізь нього плоскої акустичної хвилі за її нормального падіння. Акустичний опір середовища, з якого падає хвиля, дорівнює Z_1 , матеріалу плівки – Z_2 , середовища, в яке падає хвиля після проходження – Z_3 ($Z = \rho c$, де ρ та c відповідно щільність матеріалу полімерної плівки та швидкість розповсюдження в ньому ультразвукової хвилі). Хвилю після проходження плівки можливо подати у вигляді суперпозиції декількох хвиль. А комплексні амплітуди цих хвиль з урахуванням фазових множників можна подати у вигляді [2, 3]:

$$P_1 = P_0 W_{12} W_{23} e^{jK_2 h},$$

$$P_2 = P_0 W_{12} W_{23} V_{23} V_{21} e^{3jK_2 h},$$

$$P_3 = P_0 W_{12} W_{23} V_{23} V_{21} V_{23} V_{21} e^{5jK_2 h}, \quad (2)$$

де W і V – відповідно коефіцієнти проходження і відбиття хвиль на межах відповідних середовищ (при цьому перший індекс позначає середовище, з якого

падає хвиля, а другий – в яке проходить або від якого відбивається); K_2 – хвильове число матеріалу плівки.

Підсумовуючи всі хвилі, які пройшли шар плівки, використовуючи принцип суперпозиції, маємо:

$$P_n = \sum_{i=1}^n P_i = P_0 W_{12} W_{23} e^{jK_2 h} + P_0 W_{12} W_{23} V_{23} V_{21} e^{3jK_2 h} + P_0 W_{12} W_{23} V_{23} V_{21} V_{23} V_{21} e^{5jK_2 h} + \dots \quad (3)$$

Якщо по обидва боки контрольованого виробу знаходиться одне і те ж середовище ($Z_1 = Z_3$), то

$$W = \frac{4Z_1 Z_2}{2Z_1 Z_2 (e^{jK_2 h} + e^{-jK_2 h}) + (Z_1^2 + Z_2^2)(e^{-jK_2 h} - e^{jK_2 h})} \quad (4)$$

або

$$W = \frac{4}{2(e^{jK_2 h} + e^{-jK_2 h}) + \left(\varepsilon + \frac{1}{\varepsilon}\right)(e^{-jK_2 h} - e^{jK_2 h})} \quad (5)$$

$$\varepsilon = \frac{Z_2}{Z_1}$$

де $\frac{Z_2}{Z_1}$ – відношення акустичних опорів матеріалу плівки та оточувального середовища (у безконтактному вимірюванні – повітряного середовища).

Тоді:

$$W = \frac{4}{2\left(e^{-\alpha h + j\frac{\omega h}{c_2}} + e^{\alpha h - j\frac{\omega h}{c_2}}\right) + \left(\varepsilon + \frac{1}{\varepsilon}\right)\left(e^{-\alpha h + j\frac{\omega h}{c_2}} - e^{\alpha h - j\frac{\omega h}{c_2}}\right)} \quad (6)$$

де α – коефіцієнт згасання ультразвукової хвилі в матеріалі плівки.

Після проведення нескладних перетворень можна отримати вираз для комплексного коефіцієнта проходу $|W|$:

$$|W| = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{chah + \frac{\varepsilon^2 + 1}{2\varepsilon} shah\right)^2 \cos^2 \frac{\omega h}{c_2} + \left(\frac{shah + \frac{\varepsilon^2 + 1}{2\varepsilon} chah\right)^2 \sin^2 \frac{\omega h}{c_2}}} \quad (7)$$

При α вираз (7) приймає такий вигляд:

$$|W|_0 = \frac{1}{\sqrt{\cos^2 \frac{\omega h}{c_2} + \left(\frac{\varepsilon^2 + 1}{2\varepsilon} \sin \frac{\omega h}{c_2}\right)^2}} \quad (8)$$

Використовуючи повітря як навколишнє середовище (при цьому $\varepsilon \gg 1$) і виконання співвідношення $\frac{\omega h}{c_2} \ll 1$ (при цьому $\sin \frac{\omega h}{c_2} \approx \frac{\omega h}{c_2}$ вираз (8) можна подати у вигляді:

$$|W| = \frac{\rho_1 c_1}{\rho_2 f h} \quad (9)$$

тобто коефіцієнт проходження акустичної хвилі скрізь полімерну плівку обернено пропорційний її товщині.

На основі проведених досліджень розроблений безконтактний акустичний прилад для вимірювання товщини полімерної плівки для теплиць АВТ-1.

Результати проведених лабораторних експериментальних досліджень подані на рис. 1. Під час досліджень використовувались зразки ПВХ плівки вироб-

ництва Слов'янського заводу «Тореласт».

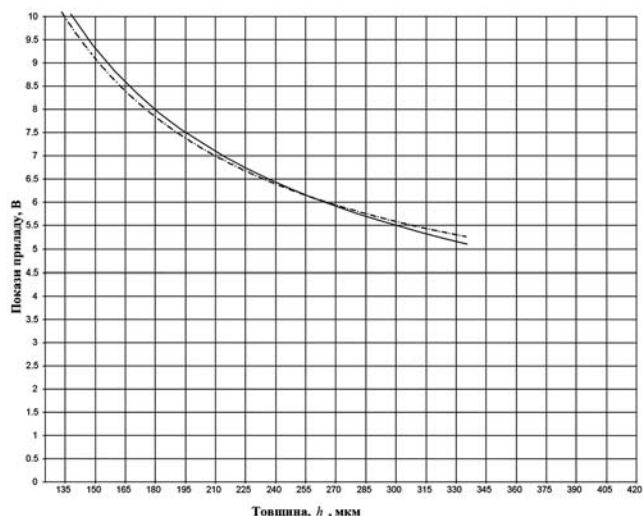


Рис. 1. – Теоретична (— — —) та експериментальна (—) залежності показів приладу АВТ-1 від товщини ПВХ плівки

Аналіз отриманих результатів показав, що похибка вимірювання товщини не перевищує $\pm 4,8\%$ в усьому діапазоні вимірювань (135 – 420 мкм), що свідчить про доцільність використання цього приладу на виробництві. Зі звуженням діапазону вимірювань похибка може бути зменшена.

Висновок. Для вимірювання товщини плівки для теплиць безпосередньо у процесі її виробництва доцільно використовувати акустичний безконтактний прилад. Це дозволяє оперативно регулювати її товщину та підвищити якість готової продукції.

Список літератури

1. Сергеева А.И. Локальные деформации диэлектрических пленок от измерительного наконечника // Измерительная техника. – 1981. – №11. – С. 25 - 27.
2. Бреховских Л.М. Акустика слоистых сред / Бреховских Л.М., Годин О.А. // - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 416 с.
3. J. David. Fundamental and Application of Ultrasonic Waves / J. David, N. Cheeke // CRC Series in Pure and Applied Physics. CRC Press LLS. – 2002. – 453 p.

Аннотация. Проведен сравнительный анализ методов измерения толщины пленки для теплиц. Показана необходимость применения бесконтактных методов для оперативного технологического измерения толщины. Разработан акустический бесконтактный прибор для измерения толщины пленки.

Summary. The comparative analysis of methods of measurement of thickness of a film for hothouses is carried out. The necessity of application non-contact methods for operative technological measurement of thickness is shown. Is developed acoustic non-contact device for measurement of thickness of a film.

Стаття надійшла до редакції 27 листопада 2015 р.