

УДК 631. 563.9 (621.798)

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОЛІМЕРНОЇ СТРІЧКИ ДЛЯ ОБГОРТАННЯ РУЛОНІВ СІНАЖУ

В.М. Сиротюк, канд. техн. наук, **І.О. Ніщенко**, канд. фіз.-мат. наук,
А.Я. Здобицький, асистент
Львівський національний аграрний університет

Викладено основні теоретичні залежності для встановлення параметрів резольвенти та результати дослідження реологічних властивостей полімерних стрічок, які характеризують її повзучість і міцність та залежність від температури навколишнього середовища.

***Ключові слова:** резольвента, напружено – деформований стан, полімерна стрічка, пружні деформації, повзучість, зусилля натягу.*

Проблема. На основі аналітичного моделювання процесу обгортання рулонів сінажу полімерною стрічкою встановлено вплив на конструкційні, кінематичні параметри та ефективність роботи обгортача механічних властивостей обгортувальної полімерної стрічки, що є змінними в часі (протягом процесу обгортання) і які складно визначити теоретично. Тому для вирішення питань проектування обладнання, що здійснює обгортання рулонів (герметизацію) необхідно експериментально визначити низку параметрів, які характеризують механічні властивості полімерної стрічки з позиції реології.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теорія процесу обгортання рулонів обладнанням із рухомим водилом у літературі не знайшла достатнього відображення. Тому для обґрунтування основних параметрів і режимів роботи органів обгортачів необхідно встановити характер взаємозв'язків процесу на що і спрямована подальша робота.

Процес обгортання рулонів сінажу полімерною стрічкою здійснюється за допомогою обгортача, який характеризується змінними в часі навантаженнями на рулон сінажу і полімерну стрічку. Внаслідок дії зусилля натягу стрічки температури навколишнього середовища відбувається її деформація в горизонтальному і вертикальному напрямках. Протікання деформації в часі і умова втрати міцності полімерної

© В.М. Сиротюк, І.О. Ніщенко, А.Я. Здобицький.

Механізація та електрифікація сільського господарства. Вип. 97. 2013.

стрічки зумовлюються наступними явищами: релаксацією, повзучістю і тривалою міцністю матеріалу.

Тому дослідження цих матеріалів необхідно здійснювати у діапазоні часу, який відповідає тривалості взаємодії елементів системи обгортання (полімерна стрічка з рулоном).

Мета досліджень. Встановити зв'язок між напруженнями і деформацією полімерної стрічки та їх залежність від часу і температури навколишнього середовища.

Результати досліджень. Розглядаючи матеріал обгортувальної стрічки як пружно-в'язке тіло, для якого справджується лінійна теорія пружної повзучості, можна записати інтегральне рівняння, яке встановлює залежність між деформацією e , напруженнями y і часом t [7–11]:

$$e(t) = \frac{y(t)}{E(t)} - \int_0^t \frac{\sigma(\Theta)}{E(\Theta)} L(t, \Theta) d\Theta, \quad (1)$$

де $L(t, \Theta) = E(\Theta) \cdot \frac{d\delta(t, \Theta)}{d\Theta}$ – функція повзучості,

$\delta(t, \Theta) = \frac{1}{E(\Theta)} + c(t, \Theta)$ – повна відносна деформація стрічки від одиничного напруження; $c(t, \Theta)$ – міра повзучості матеріалу стрічки.

За відомої деформації стрічки $e(t)$ рівність (1) можна розглядати як інтегральне рівняння відносно функції $\frac{y(t)}{E(t)}$, розв'язок якого мож-

на подати у вигляді [7]:

$$\frac{y(t)}{E(t)} = e(t) - \int_{\Theta_1}^t e(\Theta) R(t, \Theta) d\Theta, \quad (2)$$

Надалі вважатимемо, що миттєвий модуль пружності одновісного розтягу (стиску) полімерної стрічки сталий $E(t) = E(\Theta_1) = E = \text{const}$, а міру повзучості можна представити таким чином:

$$c(t, \Theta) = c_0(1 - e^{-\gamma(t-\Theta)}), \quad (3)$$

де c_0, γ – коефіцієнти, які необхідно визначити експериментально.

Тоді

$$L(t, \Theta) = -\gamma c_0 E e^{-\gamma(t-\Theta)}. \quad (4)$$

Знайдемо резольвенту $R(t, \Theta)$ рівняння (2). Для цього підставимо (4) в (2) та візьмемо похідну за часом від одержаної рівності:

$$\frac{d\varepsilon(t)}{dt} = \frac{1}{E} \frac{d\sigma(t)}{dt} + \gamma c_0 \sigma(t) - \gamma^2 c_0 \int_{\Theta_1}^t \sigma(\Theta) e^{-\gamma(t-\Theta)} d\Theta. \quad (5)$$

Виключивши з рівностей (2) і (5) інтеграл, отримаємо диференціальне рівняння

$$\frac{d\sigma}{dt} + \gamma(1 + c_0 E)\sigma = E \frac{d\varepsilon}{dt} + \gamma E \varepsilon: \quad (6)$$

Для спрощення рівняння проведемо заміну $y = E\varepsilon + z$. Тоді (6) набуде вигляду

$$\frac{dz}{dt} + kz = -\gamma c_0 E \varepsilon(t), \quad (7)$$

де $k = \gamma(1 + c_0 E)$ за початкової умови: $t = \Theta_1; \sigma(\Theta_1) = E\varepsilon(\Theta_1) \Rightarrow z(\Theta_1) = 0$.

Знайдемо загальний розв'язок однорідного рівняння $z_1 = B e^{-kz}$, та частковий неоднорідного $z_2 = -\gamma c_0 E \int_{\Theta_1}^t e(\Theta) e^{-k(t-\Theta)} dt$ методом варіацій сталої.

Тоді

$$z = z_1 + z_2 = B e^{-kz} - \gamma c_0 E \int_{\Theta_1}^t e(\Theta) e^{-k(t-\Theta)} dt. \quad (8)$$

Із початкових умов випливає, що $B=0$, внаслідок чого одержуємо наступну залежність:

$$\frac{y(t)}{E} = e(t) - \gamma c_0 \int_{\Theta_1}^t e(\Theta) e^{-k(t-\Theta)} dt, \quad (9)$$

з якого випливає, що резольвента дорівнює

$$R(t, \Theta) = \gamma c_0 e^{-k(t-\Theta)}. \quad (10)$$

Для знаходження резольвенти полімерної стрічки необхідно експериментально визначити її параметри c_0 і γ , припустивши, що її загальна деформація залишається сталою $e(t) = e_1$, а внаслідок перерозподілу пружних деформацій і повзучості відбувається релаксація напружень та виникає спад зусилля натягу стрічки [1 – 3].

Підставивши у (9) $\epsilon(t) = \epsilon(\Theta) = \epsilon_1$, одержимо:

$$y(t) = E\epsilon_1 - \frac{\gamma c_0 E \epsilon_1}{k} (1 - e^{-k(t-\Theta_1)}). \quad (11)$$

Отже, для визначення основних параметрів обгортача рулонів сінажу необхідно експериментально встановити значення деформації $\epsilon(t)$ полімерної стрічки та параметри рівняння (11), що описує її напружено-деформований стан.

Дослідження реологічних властивостей полімерних стрічок проводили у лабораторних умовах, на основі чого отримано діаграму спаду напружень у часі (рис.) та їх залежність від температури навколишнього середовища.

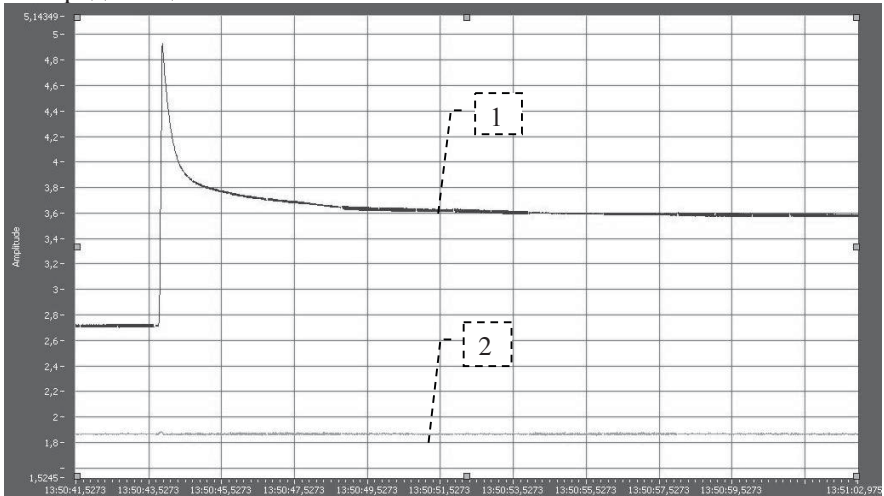


Рис. Діаграма спаду зусилля натягу полімерної стрічки в часі та температури в камері (зразок стрічки № 2, температура 303 К, відносна деформація 0,375): 1 – крива релаксації зусилля натягу; 2 – рівень температури в камері

З графіка, отриманого на основі експерименту (див. рис.) отримали значення часу $t_1 = \Theta_1$, t_2 , t_3 і відповідні їм значення сил F_1 , F_2 , F_3 і визначали напруження $y = \frac{F}{A_0}$ (A_0 – початкова площа поперечного перерізу стрічки) [4 – 6], звідки $E\epsilon_1 = y_1$ і, здійснивши їх підстановку в (11), одержали систему рівнянь для встановлення c_0 і γ :

Таблиця. Результати дослідження параметрів резольвенти полімерної стрічки

| № | Параметри полімерної стрічки | | | | | | | | | | |
|---|------------------------------|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------------------------|---------------------------------|-------|----------|-------|----------|
| | Колір | Температура, К | Зусилля натягу, Н | | | Початкове напруження, σ , МПа | Відносна деформація, ϵ | C_0 | γ | k | Δ |
| | | | F(t ₀) | F(t ₁) | F(t ₂) | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1 | | 293 | 24 | 17 | 13,9 | 0,96 | 0,375 | 0,44 | 3,32 | 5,96 | 0,44 |
| | | | 25 | 18 | 14 | 1,00 | 0,438 | 0,58 | 2,68 | 4,43 | 0,51 |
| | | | 23 | 15 | 13,8 | 0,92 | 0,50 | 0,37 | 6,69 | 11,18 | 0,40 |
| 2 | № 1 | 303 | 23 | 13 | 10 | 0,92 | 0,375 | 0,76 | 3,29 | 7,78 | 0,58 |
| | | | 21,5 | 13 | 11 | 0,86 | 0,438 | 0,54 | 2,38 | 2,7 | 0,49 |
| | | | 22 | 17 | 16 | 0,88 | 0,50 | 0,23 | 2,58 | 3,67 | 0,52 |
| 3 | № 1 | 313 | 21 | 8,5 | 5 | 0,84 | 0,375 | 1,78 | 4,0 | 16,74 | 0,76 |
| | | | 22 | 9 | 7,8 | 0,88 | 0,438 | 1,01 | 5,84 | 16,47 | 0,65 |
| | | | 22,1 | 11 | 7 | 0,88 | 0,50 | 1,2 | 2,8 | 8,84 | 0,68 |
| 4 | № 1 | 323 | 22 | 10 | 5,8 | 0,88 | 0,375 | 1,56 | 2,36 | 8,99 | 0,74 |
| | | | 22 | 6,5 | 4,2 | 0,88 | 0,438 | 2,35 | 3,9 | 20,46 | 0,81 |
| | | | 21 | 7 | 2 | 0,84 | 0,50 | 5,35 | 0,84 | 8,88 | 0,9 |
| 5 | № 2 | 293 | 35 | 24,2 | 18 | 1,4 | 0,375 | 0,53 | 8,55 | 10,62 | 0,49 |
| | | | 33 | 23,9 | 19 | 1,32 | 0,438 | 0,52 | 4,4 | 8,5 | 0,48 |
| | | | 34 | 24 | 19 | 1,36 | 0,50 | 0,79 | 2,9 | 6,93 | 0,59 |
| 6 | № 2 | 303 | 32 | 24 | 18 | 1,28 | 0,375 | 0,49 | 3,34 | 6,31 | 0,47 |
| | | | 31 | 24 | 19 | 1,24 | 0,438 | 0,35 | 7,57 | 12,4 | 0,57 |
| | | | 33 | 22 | 18 | 1,32 | 0,50 | 0,53 | 2,9 | 8,7 | 0,49 |
| 7 | № 2 | 313 | 27,7 | 14,8 | 8 | 1,1 | 0,375 | 1,42 | 2,23 | 7,92 | 0,72 |
| | | | 27,8 | 16 | 13 | 1,11 | 0,438 | 1,5 | 2,49 | 8,9 | 0,73 |
| | | | 27,8 | 16,4 | 9,5 | 1,11 | 0,50 | 1,18 | 2,95 | 9,22 | 0,68 |
| 8 | № 2 | 323 | 23 | 10,8 | 9,5 | 0,92 | 0,375 | 0,79 | 5,68 | 13,76 | 0,59 |
| | | | 23,8 | 10 | 9 | 0,95 | 0,438 | 0,91 | 4,63 | 12,25 | 0,62 |
| | | | 24 | 9,8 | 8,2 | 0,96 | 0,50 | 1,07 | 6,52 | 19,08 | 0,66 |

$$\begin{cases} y_2 = y_1 - \frac{\Gamma c_0 y_1}{k} (1 - e^{-k(t_2 - \Theta_1)}) \\ y_3 = y_1 - \frac{\Gamma c_0 y_1}{k} (1 - e^{-k(t_3 - \Theta_1)}) \end{cases} \quad (12)$$

Систему рівнянь розв'язували в такій послідовності: спочатку знаходили параметр k з рівняння

$$\frac{1 - e^{-k(t_2 - \Theta_1)}}{1 - e^{-k(t_3 - \Theta_1)}} = \frac{F_1 - F_2}{F_1 - F_3}, \quad (13)$$

після чого обчислювали значення Δ

$$\Delta = \frac{F_1 - F_2}{F_1 (1 - e^{-k(t_2 - \Theta_1)})} \quad (14)$$

та визначали параметри резольвенти c_0 і γ

$$c_0 = \frac{1}{E} \frac{\Delta}{1 - \Delta}; \quad (15)$$

$$\gamma = k(1 - \Delta). \quad (16)$$

Результати розрахунків подано в табл.

Висновки. Попередніми дослідженнями обґрунтовано, що рівняння стану для сінажу і полімерної стрічки може бути прийняте у вигляді інтегрального рівняння Вольтера другого роду.

Експериментальними дослідженнями встановлено, що із зростанням температури пружні властивості полімерних стрічок зменшуються, а пластичність підвищується.

Параметри c_0 , k , Δ резольвенти інтегрального рівняння стану для обох типів полімерних стрічок із підвищенням температури навколишнього середовища зростають і становлять відповідно 0,44 – 5,35; 2,7 – 20,46; 0,44 – 0,9, а параметр γ , навпаки, спадає і становить 8,55 – 0,84.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Вакуленко А. А. О реологии вязкоупругой среды / А. А. Вакуленко, В. М. Чобанов // Инж. ж. МГТ. – 1966. – № 4. – С. 127-129.
2. Вакуленко А. А. Суперпозиция в реологии сплошной среды / А. А. Вакуленко // Изв. АН СССР. МГТ. – 1970. – № 1. – С. 69-74.

3. *Виноградов Г. В.* Реология полимеров / Г. В. Виноградов, А. Я. Малкин. – М. : Химия, 1977. – 438 с.
4. *Гаврилов Д. А.* О некоторых методах обработки экспериментальных данных при определении ядер ползучести или релаксации / Д. А. Гаврилов // Мех. композит. материалов. – 1980. – № 4. – С. 753.
5. *Малинин Н. Н.* Основы расчетов на ползучесть / Н. Н. Малинин. – М. : Машгиз, 1948. – 120 с.
6. *Сиротюк В. Н.* Исследование реологических свойств задержанных почв и взаимодействие с ними пневматической шины низкого давления / В. Н. Сиротюк // Наук. пр. Укр. с.-г. академії. – К., 1984. – С. 52-59.
7. *Работнов Ю. Н.* Ползучесть элементов конструкций / Ю. Н. Работнов. – М. : Наука, 1966. – 752 с.
8. *Рейнер М.* Реология / М. Рейнер ; пер. с англ. Н. И. Малинина ; под ред. Э. И. Григолюка. – М. : Наука, 1965. – 224 с.
9. *Ржаницын А. Р.* Некоторые вопросы механики систем, деформирующихся во времени / А. Р. Ржаницын. – М. : ГИТТЛ, 1949. – 252 с.
10. *Ржаницын А. Р.* Теория ползучести / А. Р. Ржаницын. – М. : Госстройиздат, 1968. – 416 с.
11. *Рындин Н. И.* Краткий курс теории упругости и пластичности : учеб. пособие / Н. И. Рындин ; под ред. проф. В. С. Постолева. – Л. : Изд-во Ленинград. ун-та, 1974. – 136 с.
12. *Ферри Дж.* Вязкоупругие свойства полимеров / Дж. Ферри. – М., 1963. – 535 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНОЙ ЛЕНТЫ ДЛЯ ОБЁРТЫВАНИЯ РУЛОНОВ СЕНАЖА

Изложены основные теоретические зависимости для установления параметров резольвенты и результаты исследования реологических свойств полимерных лент, которые характеризуют ее ползучесть и прочность, и зависимость от температуры окружающей среды.

Ключевые слова: резольвента, напряженно - деформированное состояние, полимерная лента, упругие деформации, ползучесть, усилие натяжения.

RESULTS OF RESEARCH OF RHEOLOGICAL PROPERTIES OF POLYMERIC TAPE FOR BALE WRAPPER OF SILAGE

Basic theoretical dependences for establishment of parameters of resolvent and results of research of rheological properties of polymeric tape, which character-

ize her creep both durability and dependence on an ambient temperature, are expounded.

Key words: *resolvent, tensely is the deformed state, polymeric tape, resilient deformations, creep, effort of pulling.*

УДК 631.361:637

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВНЕСЕННЯ СОЛОМ'ЯНОЇ ПІДСТИЛКИ

А.О. Парієв, канд.техн.наук
ННЦ «ІМЕСГ»

Виконано аналіз сучасного технологічного обладнання для внесення солом'яної підстилки на фермах великої рогатої худоби згідно з існуючими технологічними і зоотехнічними вимогами.

Ключові слова: *солом'яна підстилка, технологічні і зоотехнічні вимоги.*

Проблема. В Україні кожного року виробляється близько 25 млн. т соломи, але вважається, що 20 % не використовується не в якості підстилкового матеріалу, не для годівлі тварин. На жаль, у період з 1999 р. по 2008 р. заготівля соломи зменшилася з 8,2 млн. т до 5,3 млн. т. За даними 2008 р. виробництво соломи в областях України та її можливий потенціал для використання розподілявся наступним чином (рис. 1), згідно до співвідношення між зерною та незерною частиною рослин та оцінок коефіцієнтів доступності [1].

Разом з тим, відомо, солома вважається одним з найкращих покриттів для стійла великої рогатої худоби, екологічно безпечною для тварин, має велику вологопоглинальність: 1 кг соломи може поглинати до 3-4 кг рідких елементів, зокрема, солома у розсипному вигляді – від 220 % , подрібнена - до 398 % . До того ж вона здатна поглинати шкідливі гази, які присутні у корівнику (аміак, сірководень), має теплоізоляційні властивості – зменшувати витрати тепла ВРХ на 12-14 %.

На теперішній час для механізованої доставки і розкидання підстилки існує досить велике різноманіття машин для розкидання

© А.О. Парієв.

Механізація та електрифікація сільського господарства. Вип. 97. 2013.