

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

ЗДОБИЦЬКИЙ АНДРІЙ ЯРОСЛАВОВИЧ

УДК 631. 563.9 (621.798)

**РОЗРОБКА СТАЦІОНАРНОГО ОБГОРТАЧА РУЛОНІВ СІНАЖУ І
ОБҐРУНТУВАННЯ ЙОГО ТЕХНІЧНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ**

05.05.11 – машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Тернопіль – 2013

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Львівському національному аграрному університеті Міністерства аграрної політики та продовольства України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, професор,
Сиротюк Валерій Миколайович,
Львівський національний аграрний університет, професор кафедри електротехнічних систем.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
Підгурський Микола Іванович
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри технології і обладнання зварювального виробництва;

кандидат технічних наук, доцент,
Дударєв Ігор Миколайович
Луцький національний технічний університет
Міністерства освіти і науки України,
доцент кафедри обладнання переробних виробництв.

Захист відбудеться „17” жовтня 2013 р. о ____ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 58.052.02 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, ауд. 79.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56.

Автореферат розісланий „____” _____ 2013 р.

Учений секретар спеціалізованої
вченої ради к.т.н., доцент

П. В. Попович

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У технологічному процесі заготівлі сінажу важливою та відповідальною операцією є герметизація корму, від якості виконання якої залежить ефективність і продуктивність галузі тваринництва.

Згідно з даними державної статистики, у господарствах з часів розпаду колгоспної системи сінаж практично не заготовляли. Основна маса великої рогатої худоби утримується населенням і дрібними фермерськими господарствами, в яких неможливо реалізувати технологію виробництва сінажу внаслідок відсутності системи машин та відповідних сховищ. Тому не реалізуються значні переваги від силосно-сінажного типу годівлі великої рогатої худоби.

Цю проблему можна подолати, якщо впровадити в господарствах різної потужності технологію заготівлі пресованого сінажу в рулонах, обгорнутих полімерною стрічкою, що не потребує спеціальних сховищ, а засоби механізації порівняно дешеві. Розв'язанню цих питань і присвячена дана робота. Проведені дослідження спрямовані на вирішення питань кормовиробництва в сільському господарстві України, зокрема механізації заготівлі стеблових кормів. Зокрема запропонована конструкція машини і науково обґрунтовані її параметри для ефективного обгортання рулонів сінажу полімерною стрічкою.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана на кафедрі сільськогосподарських машин Львівського національного аграрного університету та входить до тематики наукових досліджень 2000–2005 рр. „Розробка, впровадження енергозберігаючих механізованих процесів, технологій і систем аграрного виробництва та технічних засобів їх реалізації“ (державний реєстраційний номер 0100U002333); 2006–2010 рр. „Розробка технічних засобів та ресурсощадних технологій в землеробстві, рослинництві і тваринництві“ (державний реєстраційний номер 0106U002075); 2011–2015 рр. „Розробка проектно-керованих інноваційних систем, ресурсощадних технологій і технічних засобів у агропромисловому виробництві та його енергозабезпеченні“ (державний реєстраційний номер 0111U001251).

Мета і задачі дослідження. Мета роботи – створення теоретичних засад і на їх основі обґрунтування технічно-технологічних параметрів стаціонарного обгортача рулонів сінажу.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- проаналізувати існуючі технології і засоби, що забезпечують герметизацію рулонів сінажу полімерною стрічкою та взаємодію робочих органів із рулоном сінажу;
- провести теоретичні дослідження взаємодії рулону сінажу з робочими органами обгортача в процесі обгортання його полімерною стрічкою;
- розробити методику й експериментальне обладнання для визначення фізико-механічних властивостей рулону сінажу і полімерної стрічки та процесу обгортання;
- провести експериментальні дослідження фізико-механічних властивостей рулону спресованої сінажної маси і полімерної стрічки та стаціонарного обгортача рулонів сінажу;
- обґрунтувати ефективність удосконаленого стаціонарного обгортача рулонів сінажу.

Об'єкт дослідження – процес обгортання рулонів сінажу полімерною стрічкою і технічний засіб для його здійснення.

Предмет дослідження – встановлення взаємозв'язку між основними параметрами стаціонарного обгортача та ефективністю його роботи і дослідження фізико-механічних властивостей рулону сінажу й полімерної стрічки.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження ґрунтуються на положеннях теоретичної механіки, теорії механізмів і машин, механіки суцільного середовища, теорій пружності, пластичності та текучості. Моделювання процесу обгортання рулонів сінажу полімерною стрічкою проводили за допомогою прикладного програмного забезпечення (MS Excel, Mathcad, MATLAB тощо). Експериментальні дослідження проводили з використанням методів динамометрування, тензометрування в умовах статичних і динамічних навантажень, планованого експерименту та комплексу віртуальних приладів, створених у середовищі LabVIEW. Обробку отриманих результатів здійснювали із застосуванням методів математичної статистики (STATISTICA).

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що:

- вдосконалено теорію взаємодії рулону сінажу з опорно-приводними роликками;
- вперше розроблено математичну модель стійкості рулону під час обгортання його полімерною стрічкою в стаціонарних умовах з урахуванням їх фізико-механічних властивостей;
- обґрунтовано кінематичні, конструктивні, енергетичні показники і режимні параметри стаціонарного обгортача рулонів сінажу;
- вперше експериментально отримано значення миттєвих модулів пружності першого і другого роду рулону спресованої сінажної маси за динамічних навантажень та встановлено параметри резольвенти рівняння стану;
- отримано функціональну залежність зміни реологічних властивостей полімерної стрічки залежно від температури навколишнього середовища;
- розроблено методики експериментальних досліджень властивостей рулону сінажу і полімерної стрічки та обгортача в лабораторних і виробничих умовах з використанням віртуальних приладів, створених на ПК у середовищі LabVIEW;
- розроблено експериментальну установку для обгортання рулонів сінажу полімерною стрічкою в стаціонарних умовах та запропоновано низку оригінальних технічних рішень, захищених патентом на корисну модель (№ 21911) [8].

Практичне значення одержаних результатів. Розробка обгортача дасть можливість реалізувати технологію заготівлі сінажу в рулонах обгорнутих полімерною стрічкою. Розроблено і виготовлено експериментальний зразок технічного засобу, що здійснює обгортання рулонів сінажу полімерною стрічкою в стаціонарних умовах. Передано результати дослідження реологічних властивостей полімерних стрічок і спресованої рослинної маси до "Західного науково-дослідного центру інженерії агротехнологічних систем ННЦ «ІМЕСГ»".

Виробнича перевірка стаціонарного обгортача рулонів сінажу полімерною плівкою в умовах державного підприємства дослідного господарства "Миклашів" ЗФ ННЦ "ІМЕСГ" Пустомитівського району Львівської області показала відповідність технічним умовам.

Особистий внесок здобувача. Основні дослідження проведені автором особисто. У наукових працях, опублікованих у співавторстві, встановлено аналітичним та дослідним методами раціональні параметри процесу обгортання рулонів сінажної маси полімерною стрічкою. Розроблено методики визначення

фізико-механічних властивостей рулону сінажу і реологічних полімерної стрічки, а також встановлено їх вплив на ефективність та якість виконання процесу герметизації. Експериментально досліджено процес обгортання рулонів сінажно-ї маси полімерною стрічкою за умови зміни властивостей цих матеріалів.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати роботи були заслухані і обговорені на: Міжнародному науково-практичному форумі „Теорія і практика розвитку АПК“ (Львів, 2006 р.), Міжнародному форумі молоді „Молодь і сільськогосподарська техніка в XXI столітті“ (Харків, 2007 р.), IX Міжнародній науково-методичній конференції „Інженерно-технічне забезпечення інноваційних технологій сервісу машин“ (Харків, 2011 р.), III Міжнародній науково-практичній конференції „Інноваційні технології в агропромисловому і лісовому комплексах та переробній галузі“ (Луцьк, 2011 р.), Міжнародному науково-практичному форумі „Теоретичні основи і практичні аспекти використання ресурсощадних технологій для підвищення ефективності агропромислового виробництва і розвитку сільських територій“ (Львів, 2012 р.).

Дисертаційна робота у повному обсязі доповідалась і обговорювалась на розширеному засіданні кафедри “Інженерного та комп’ютерного забезпечення АПК „Луцького національного технічного університету (головуючий – доктор технічних наук, завідувач кафедри матеріалознавства та пластичного формування конструкцій машинобудування, професор П. П. Савчук).

Публікації. За результатами дисертаційної роботи опубліковано 12 наукових праць (у тому числі дві одноосібні), з яких 8 у фахових виданнях, 3 – у матеріалах конференцій, в інших виданнях одна праця та один патент на корисну модель.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, п’яти розділів, висновків, списку використаних джерел (135 найменувань) та 13 додатків. Повний обсяг дисертації становить 132 сторінки, робота містить 53 рисунки і 10 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У *вступі* обґрунтовано актуальність дисертації, сформульовано мету, встановлено об’єкт, предмет і задачі досліджень, окреслено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів і наведено дані про їх апробацію.

У *першому розділі* „**Стан питання та задачі дослідження**“ розглянуто існуючі технології консервування і зберігання стеблових кормів, проведено огляд, аналіз та класифікацію технічних засобів для обгортання рулонів сінажу, а також огляд теорій процесу обтягування рулону гнучкою стрічкою.

На підставі проведеного огляду технологій і багатокритеріальної оцінки засобів для заготівлі кормів із трав встановлено, що впровадження технології заготівлі сінажу в рулонах, обгорнутих полімерною стрічкою, дасть змогу виключити жорсткий взаємозв’язок між розмірами сховища і об’ємом заготовленого сінажу, знизити залежність від погодних умов. Застосування технології заготівлі кормів з обгортанням рулонів сінажу в стаціонарних умовах дає можливість знизити шкідливий вплив агрегату на ґрунт, а також уникнути втрат внаслідок пошкодження покриття (розгерметизація рулонів) під час навантажувально-розвантажувальних робіт.

Найбільш значні і ґрунтовні дослідження процесу стиску і пресування матеріалів проводили такі провідні вчені, як І.І. Вольф, А.А. Чапкевич, Ч. Канафойський, Е.М. Гутьяр, В.П. Горячкін, М.А. Пустигін, І.В. Сахаров, С.А. Алферов, А.А. Григор'єв, А.А. Тулинов, В.М. Солов'єв, В.Д. Дутов, Дж. Л. Батлер, Х.Ф. Мак-Коллі, М.А. Пережогін, Е.І. Храпач, Ернст Мевес, А.А. Сторц, Г.А. Хайліс, В.С. Брик, Б.П. Можаров, Д.Д. Прокопенко, В.М. Сиротюк, М.І. Підгурський, І.М. Дударєв та багато інших.

Дослідження деформаційних реологічних властивостей рослин під час їх стиску проводила низка дослідників (І.А. Долгов, В.І. Особов, Г.К. Васільєв, Г.А. Авер'янова), пропонуючи прості реологічні моделі (механічні моделі пружних тіл), внаслідок чого встановлено, що рослинні матеріали не є абсолютно пружними, але певні властивості пружного матеріалу їм притаманні та характеризуються модулем пружності і коефіцієнтом Пуассона. Стосовно сіно-соломистих матеріалів, деформації яких лінійно не залежать від напруження, ці показники є змінними. Вчені встановили, що значення модуля пружності і коефіцієнта поперечних деформацій залежать від густини рослинних матеріалів під час їх стиску.

На основі теоретичних положень теорії процесу обтягування рулону стрічкою встановлено низку питань, що потребують вивчення. Зокрема залишились поза увагою аналітичні залежності стиску хаотично вкладених стебел у спресованому рулоні, більшість із яких є розплющеними та неможливо визначити їх кількість, деформації, що проявляються під дією різних умов залежно від тих чи інших властивостей сінажної маси та полімерної стрічки.

Врахування особливостей цих матеріалів дасть змогу обґрунтувати конструктивні та кінематичні параметри обгортача рулонів сінажу і підвищити якість виконання процесу консервування (герметизації).

У другому розділі „**Теоретичні дослідження процесу обгортання рулонів сінажу полімерною стрічкою**“ проведено аналіз роботи розробленого обгортача (рис. 1) та встановлено аналітичні залежності між основними параметрами і режимами роботи з урахуванням фізико-механічних властивостей рулону сінажної маси та обгортувальної полімерної стрічки, що є змінними в часі, на основі чого можна обґрунтувати його конструктивні, кінематичні і технологічні показники.

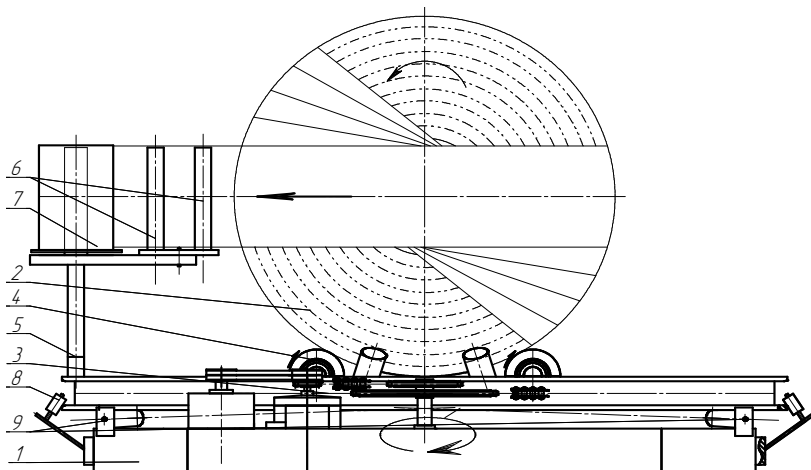


Рис. 1. Схема стаціонарного обгортача рулонів сінажу

- 1 – рама;
- 2 – рулон сінажу;
- 3 – поворотна платформа;
- 4 – опорно-проводні вальці;
- 5 – водило;
- 6 – натяжний пристрій;
- 7 – котушка із полімерною стрічкою;
- 8 – притискні ролики;
- 9 – опорні конічні ролики.

Процес обгортання рулону сінажної маси полімерною стрічкою здійснюється внаслідок того, що опорно-приводні ролики, які встановлені паралельно

осі рулону, надають йому обертального руху завдяки дотиканню твірних із поверхнею контакту ролика (див. рис. 1). За цього рулон, перекочуючись по роликах, зазнає деформації стиску внаслідок дії в радіальному напрямку сил тертя і маси рулону.

Розв'язання задачі перекочування пружно-в'язко-пластичного рулону (тюка) на жорсткому ролику (рис. 2) може бути здійснено з використанням в'язко-пружної задачі, що полягає в заміні пружних констант операторами. Це можливо у разі, якщо функція часу може бути зведена до оператора виду

$$\hat{E}^0 = 1 + \int_0^t K(t - \Theta) d\Theta \quad \text{або} \quad R^0 = 1 - \int_0^t R(t - \Theta) d\Theta, \quad (1)$$

де $K(t - \Theta)$ – ядро повзучості інтегрального рівняння; $R(t - \Theta)$ – резольвента інтегрального рівняння, ядро релаксації; t, Θ – початкове та біжуче значення часу.

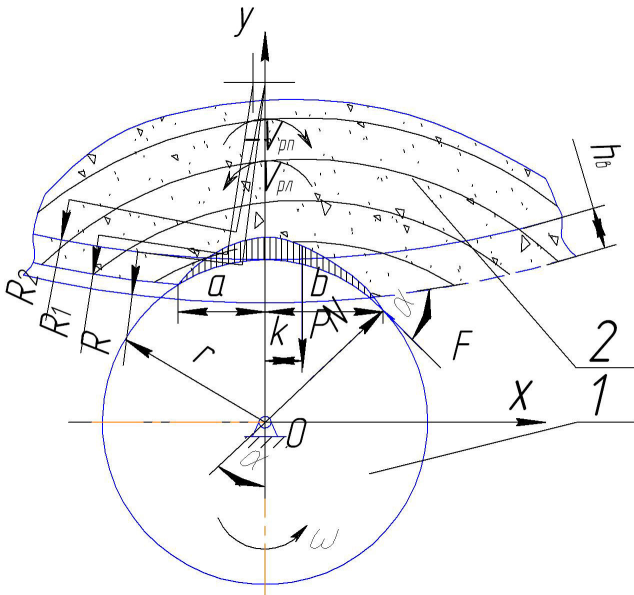


Рис. 2. Схема перекочування рулону по ролику:

- 1 – опорно-приводний ролик;
2 – рулон сінажної маси.

Скориставшись співвідношенням Сохоцького-Племеля, отримуємо наступну залежність:

$$\frac{1}{\pi i} \int_{-\hat{a}}^{\hat{a}} \frac{\delta_{(s)} + iT_{(s)}}{s - x} ds = \frac{2}{1 + \chi} \left[(\mu_1 U_1^1(x) - \mu_2 U_2^1(x) - i(\bar{\mu}_2 V_1^1(x) - \mu_2 V_2^1(x))) \right] \quad (4)$$

Розділивши дійсні та уявні частини в рівнянні (4), а також виконавши перетворення і домноживши його обидві частини на π , одержимо два сингулярні рівняння, з яких перше слугує для знаходження нормального тиску рулону та роликів N_1 , друге – для визначення дотичних напружень у зоні контакту N_2 :

$$N_1 = \frac{\pi \mu_1 \mu_2}{r(1 - \nu)(\mu_1 + \mu_2)} \left(1 - \varphi(\sigma_n) \frac{\hat{A}_1}{\hat{A}_0} (1 - \hat{a}^{-B_0 t}) \right) \quad (5)$$

$$N_2 = r \frac{\pi \mu_1 \mu_2 \cdot \nu}{R(1 - \nu)(\mu_1 + \mu_2)} \varphi(\sigma_n) A_1 \left(\frac{t}{\hat{A}_0} - \frac{1}{\hat{A}_0^2} (1 - \hat{a}^{-B_0 t}) \right)$$

Використовуючи принцип Вольтера, рівняння напружень можна записати у вигляді

$$\begin{aligned} (\sigma_x)_k &= \bar{\lambda}_k \Theta_k^1 + 2\bar{\mu}_k (\varepsilon_{\sigma})_k, \\ (\sigma_y)_k &= \bar{\lambda}_k \Theta_k^1 + 2\bar{\mu}_k (\varepsilon_y)_k, \\ (\tau_{xy})_k &= \bar{\mu}_k (\gamma_{xy})_k. \end{aligned} \quad (2)$$

За визначених видів ядра і функції напружень функцію впливу часу його можна звести до виду (1).

Для матеріалу ролика оператори трансформуються в пружні сталі Ляме, а для рулону сінажу вони набудуть вигляду таких залежностей:

$$\bar{\lambda}_1 = \lambda_1 \left[1 - \int_0^t \hat{E}(t - \Theta) d\Theta \right] = \lambda_1 (1 - \hat{E}^0), \quad (3)$$

$$\bar{\mu}_1 = \mu_1 \left[1 - \int_0^t R(t - \Theta) d\Theta \right] = \mu_1 (1 - R^0).$$

де $\varphi(\sigma_n) = 1 - \frac{\sigma_{\delta\delta}}{\sigma_0}$; $\sigma_0, \sigma_{\delta\delta}$ – початкове та тривале напруження, \hat{A}_1, \hat{A}_0 – параметри ядра повзучості.

Припускаючи, що напруження в точках контакту $x = -a$ і $x = b$ рівні нулю, отримаємо

$$a = \frac{N_2}{N_1} + \sqrt{\frac{2P}{N_1}}; \quad b = -\frac{N_2}{N_1} + \sqrt{\frac{2P}{N_1}}, \quad (6)$$

де P – сила стиску, що припадає одиницю ширини рулону.

Внаслідок дії власної ваги \bar{G} (рис. 3), зусилля натягу стрічки \bar{F} і контактної взаємодії з роликками радіуса r , рулон радіуса R деформується і його центр маси переміщується на величину Δ_1 у вертикальному напрямку і Δ_2 у горизонтальному напрямку.

Кути λ_1 і λ_2 , що визначають положення точок К і D, дорівнюють

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \arctg \left(\frac{(R+r)\sin\lambda + \Delta_2}{(R+r)\cos\lambda + \Delta_1} \right). \quad (7)$$

Переміщення цих точок \hat{E} і D рулону, які контактують з правим та лівим роликком, можна знайти за теоремою косинусів:

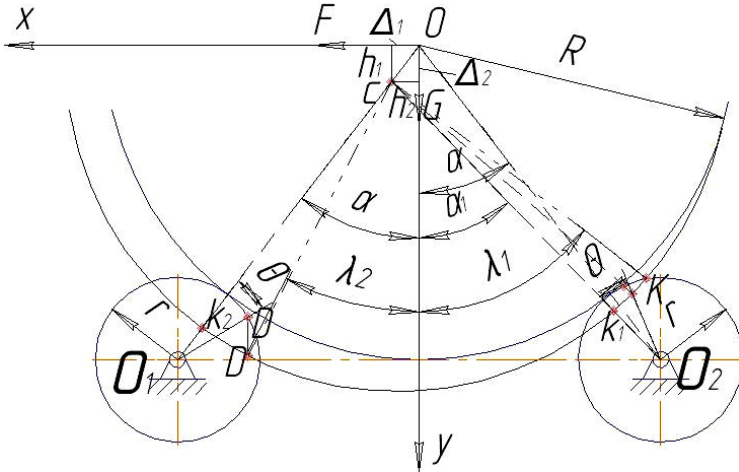


Рис. 3. Схема деформації рулону в процесі перекочування на роликках.

$$U_E = R - \sqrt{\hat{N}_2^2 + r^2 - 2r \cdot CO \cos\theta}, \quad (8)$$

$$U_D = R - \sqrt{CO_2^2 + r^2 - 2rCO_1 \cos\theta}, \quad (9)$$

де $-\theta_0 \leq \theta \leq \theta_0$ та $-\theta_1 \leq \theta \leq \theta_1$, граничні кути θ_0 і θ_1 знаходимо з таких рівнянь:

$$\cos\theta_0 = \frac{C\hat{I}_2^2 + r^2 - R^2}{2r \cdot CO_2}, \quad (10)$$

$$\cos\theta_1 = \frac{CO_1^2 + r^2 - R^2}{2r \cdot CO_1}. \quad (11)$$

Підставивши (7 – 9) у рівняння (10 – 11), одержимо

$$\begin{cases} \cos\lambda_2 \left(\sin\theta_0 \left(1 - \frac{CO_1 - r}{R} \left(1 + \frac{r \cdot CO_2}{(CO_2 - r)^2} \right) \right) + \frac{r \cdot CO_2}{2R(CO_2 - r)} \left(\theta_1 + \frac{\sin 2\theta_1}{2} \right) \right) + \\ + \cos\lambda_1 \left(\sin\theta_0 \left(1 - \frac{CO_2 - r}{R} \left(1 + \frac{r \cdot CO_2}{(CO_2 - r)^2} \right) \right) + \frac{r_1 CO_2}{2R(CO_2 - r)} \left(\theta_0 + \frac{\sin 2\theta_0}{2} \right) \right) = \frac{G}{2rLE}, \\ \sin\lambda_2 \left(\sin\theta_0 \left(1 - \frac{CO_1 - r}{R} \left(1 + \frac{r \cdot CO_2}{(CO_2 - r)^2} \right) \right) + \frac{r \cdot CO_2}{2R(CO_2 - r)} \left(\theta_1 + \frac{\sin 2\theta_1}{2} \right) \right) - \\ - \sin\lambda_1 \left(\sin\theta_0 \left(1 - \frac{CO_2 - r}{R} \left(1 + \frac{r \cdot CO_2}{(CO_2 - r)^2} \right) \right) + \frac{r_1 CO_2}{2R(CO_2 - r)} \left(\theta_0 + \frac{\sin 2\theta_0}{2} \right) \right) = \frac{F}{2rLE}. \end{cases} \quad (12)$$

Звідси визначимо координати зміщеного центра рулону c

$$h_1 = h_2 = \sqrt[3]{\left(\frac{3}{8}\right)^2 \left(\frac{G}{\cos \lambda} + \frac{F}{\sin \lambda}\right)^2 \frac{R(R+r)}{rL^2E^2}}, \quad (13)$$

На основі чого тиск взаємодії рулону і роликів обчислимо за формулами:

$$\begin{aligned} D_1 &= \frac{E}{R} \left(h_2 - \frac{r(R+r)}{R} \frac{\theta^2}{2} \right); & -\theta_0 \geq \theta \geq \theta_0; \\ D_2 &= \frac{E}{R} \left(h_1 - \frac{r(R+r)}{R} \frac{\theta^2}{2} \right); & -\theta_1 \geq \theta \geq \theta_1. \end{aligned} \quad (14)$$

Розв'язавши рівняння (14) числовим методом, отримали теоретичні залежності тиску P взаємодії рулону і роликів від модуля пружності рулону сінажу та граничних значень кутів θ_0 і θ_1 (рис. 4).

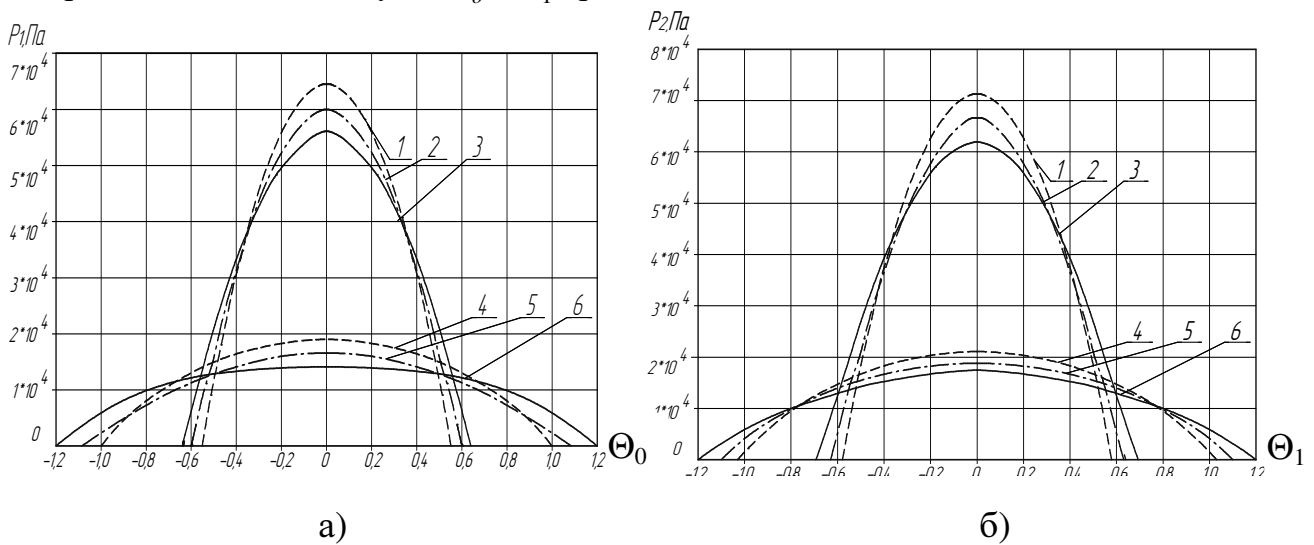


Рис. 4. Залежність тиску на поверхнях контакту рулону і правого (а) та лівого (б) роликів від модуля пружності за граничних значень кутів θ_0 і θ_1 :
1, 2, 3 – $E = 2,3$ МПа; 4, 5, 6 – $E = 0,6$ МПа.

Із наведених графічних залежностей (див. рис. 4) випливає, що з підвищенням модуля пружності рулону зусилля притискання між рулоном і роликami суттєво зростає.

Для визначення деформацій полімерної стрічки внаслідок зміни радіуса обхвату розглянемо циліндричний рулон, який, обертаючись навколо своєї осі, по твірній обгортається стрічкою, що рухається навколо нього по колу в горизонтальній площині. Припустимо, що на рухомій платформі знаходиться точка М (рис. 5), що рухається по колу радіуса R , а на рулоні – точка А. У процесі роботи точка М переміститься на деякий кут φ .

Визначимо біжуче значення та координати точок М та А:

$$M \begin{cases} x = R \cos \varphi \\ y = R \sin \varphi \end{cases} \quad A \begin{cases} x_a = l \\ y_a = -a \end{cases}, \quad (15)$$

сполучивши ці точки, отримаємо відрізок L_1 (довжина стрічки), довжину якого знайдемо, скориставшись залежностями (15):

$$L_1 = \sqrt{R^2 + L^2 + a^2 - 2R(l \cos \varphi - a \sin \varphi)}, \quad (16)$$

за умови, що $\varphi_1 \leq \varphi \leq \varphi_2$,

де φ_1 і φ_2 – крайні значення кута φ :

$$\varphi_1 = -\arcsin\left(\frac{a}{R}\right); \quad \varphi_2 = \arccos\left(\frac{l}{R}\right), \quad (17)$$

де l – половина загальної довжини рулону.

У процесі роботи точка M переміститься на деякий кут φ (положення токи M_2). Відповідно довжина плеча L_1 зміниться внаслідок розмотування і деформації стрічки. Стрічка дотикатиметься до рулону в точці B . Знайдемо довжину відрізка M_2B :

$$L_2 = \sqrt{R^2 + L^2 + a^2 - 2R(l\cos\varphi + a\sin\varphi)}. \quad (18)$$

Для забезпечення ефективності протікання процесу необхідне виконання умови $\varphi_2 \leq \varphi \leq \varphi_3$,

де φ_3 – максимальне значення кута φ , коли відрізок M_2B рухається по твірній циліндра.

Відповідно до цього кут φ_3 дорівнює:

$$\varphi_3 = \pi + \varphi_1. \quad (19)$$

На основі приросту довжин відрізків L_1 і L_2 , що дорівнюють приросту довжини стрічки під час розмотування і видовження внаслідок допустимої деформації $[\varepsilon]$, визначимо швидкість розмотування стрічки $v_{\bar{n}}$ для обох випадків:

$$v_{\bar{n}1} = \frac{1}{1+[\varepsilon]} \frac{l\sin\varphi + a\cos\varphi}{L_1} \omega R, \quad v_{\bar{n}2} = \frac{1}{1+[\varepsilon]} \frac{l\sin\varphi - a\cos\varphi}{L_2} \omega R. \quad (20)$$

Розв'язавши рівняння (20) числовим методом, отримали графічні залежності швидкості розмотування полімерної стрічки v_c від її деформації та кута φ (рис. 6).

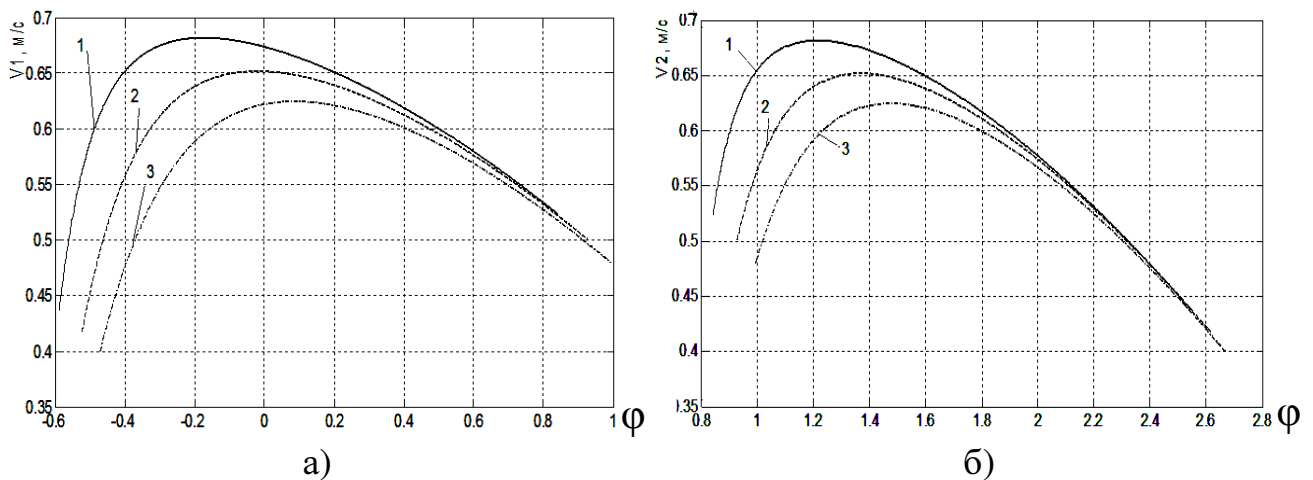


Рис. 6. Залежність швидкості розмотування полімерної стрічки v_c від кута φ та відносної деформації ε і виконання умови: а) $\varphi_1 \leq \varphi \leq \varphi_2$; б) $\varphi_2 \leq \varphi \leq \varphi_3$
1 – $\varepsilon=0,375$, 2 – $\varepsilon=0,438$, 3 – $\varepsilon=0,5$.

Розглядаючи матеріал обгортувальної стрічки як пружно-в'язке тіло, для якого справджується лінійна теорія пружної повзучості, можна записати

інтегральне рівняння та встановити залежність між деформацією $\varepsilon(t)$ і напруженнями $\sigma(t)$:

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma(t)}{E(t)} - \int_0^t \frac{\sigma(\tau)}{E(\tau)} L(t, \tau) d\tau, \quad (21)$$

де $L(t, \Theta) = E(\Theta) \cdot \frac{d\delta(t, \Theta)}{d\Theta}$ – спадна функція, $\delta(t, \Theta) = \frac{1}{\dot{A}(\Theta)} + \tilde{n}(t, \Theta)$ – повна відносна деформація стрічки від одиничного напруження; $\tilde{n}(t, \Theta)$ – міра повзучості матеріалу стрічки.

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

$$\tilde{n}(t, \Theta) = c_0(1 - e^{-\gamma(t-\Theta)}), \quad (22)$$

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

$$\text{Тоді} \quad L(t, \Theta) = -\gamma c_0 \dot{A} e^{-\gamma(t-\Theta)}. \quad (23)$$

Для знаходження резольвенти інтегрального рівняння стану (деформації) полімерної стрічки необхідно експериментально визначити її параметри c_0 і γ . Припустивши, що її загальна деформація залишається сталою $\varepsilon(t) = \varepsilon_1$, а внаслідок перерозподілу пружних деформацій і повзучості відбувається релаксація напружень та виникає спад зусилля натягу стрічки, тому підставивши в (21) $\varepsilon(t) = \varepsilon(\Theta) = \varepsilon_1$ одержимо

$$\sigma(t) = \dot{A} \varepsilon_1 - \frac{\gamma c_0 E \varepsilon_1}{k} (1 - e^{-k(t-\Theta_1)}). \quad (24)$$

Отже, для визначення основних параметрів обгортача рулонів сінажу необхідно експериментально встановити значення деформації $\varepsilon(t)$ полімерної стрічки та параметри рівняння (24), що описує її напружено-деформований стан.

Ефективність роботи обгортача рулонів сінажу визначається за якістю герметизації рулону. Внаслідок неузгодженості частоти обертання водила, на якому встановлено бобіну з полімерною стрічкою та роликками, що приводять в рух рулон сінажу, відбувається нерівномірний натяг та її деформація і належне перекриття шарів (50%), тому для підвищення роботоздатності обгортача розглянемо технологічний процес у цілому.

На циліндричне тіло (рулон сінажу) діє сила ваги \vec{G} (рис. 7), нормальні реакції \vec{N}_1, \vec{N}_2 , сили тертя \vec{T}_1, \vec{T}_2 і сила натягу полімерної стрічки \vec{F}_{\dots} . Тоді рівняння рівноваги запишуться так:

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^n F_{KX} = 0 \quad N_2 \sin \alpha + T_2 \cos \alpha - N_1 \sin \alpha + T_1 \cos \alpha + F = 0, \\ \sum F_{KY} = 0 \quad N_2 \cos \alpha - T_2 \sin \alpha + N_1 \cos \alpha + T_1 \sin \alpha - G = 0. \end{aligned} \quad (25)$$

Під час розгону рулону сили тертя досягають граничних значень, тобто

$$T_1 = fN_1; \quad T_2 = fN_2, \quad (26)$$

де f – коефіцієнт тертя ковзання.

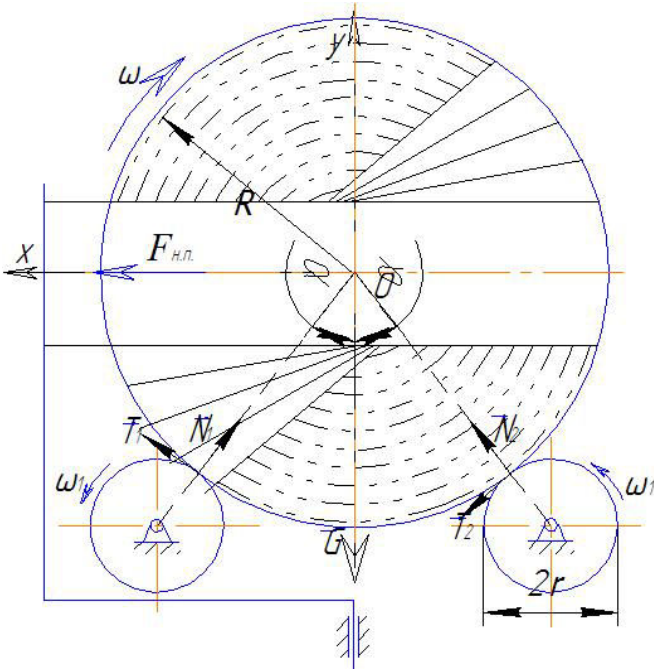


Рис. 7. Силова взаємодія роликів і рулону сінажу.

Підставивши (25) у (26), знаходимо нормальні реакції N_1 і N_2 :

$$\begin{aligned} & N_2(\sin \alpha + f \cos \alpha) - \\ & - N_1(\sin \alpha - f \cos \alpha) = -F, \\ & N_2(\cos \alpha - f \sin \alpha) + \\ & + N_1(\cos \alpha + f \sin \alpha) = G. \end{aligned} \quad (27)$$

Для забезпечення якісної герметизації потрібно, щоб рулон сінажу не відривався від опорно-приводних роликів, необхідне виконання умови $N_2 > 0$, з якої випливає, що кут α повинен задовольняти умову (рис. 8):

$$\alpha > \arctg \left(\frac{F + fG}{G - fF} \right). \quad (28)$$

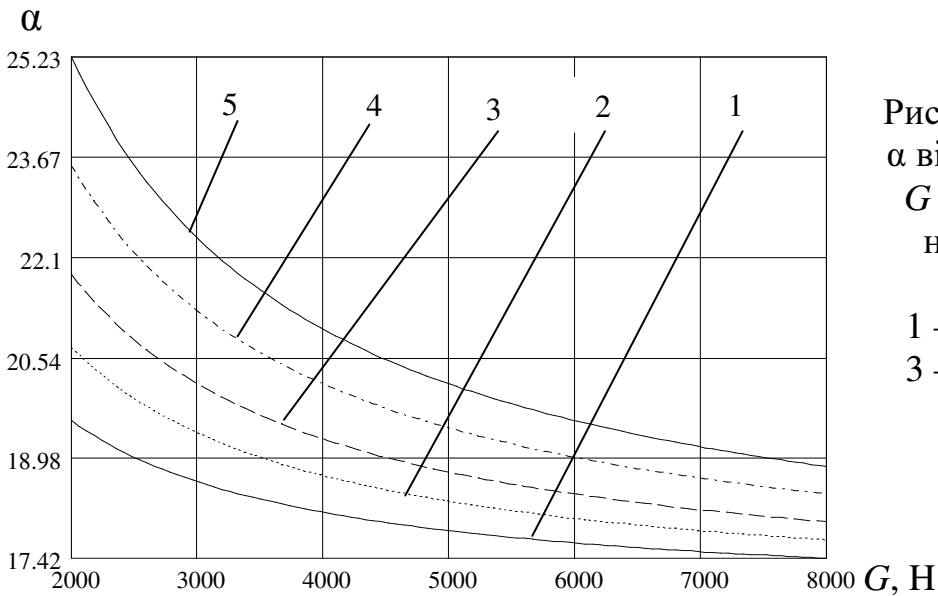


Рис. 8. Залежність кута α від сили ваги рулону G за різного зусилля натягу полімерної стрічки F :
1 – 100 Н, 2 – 140 Н,
3 – 180 Н, 4 – 240 Н,
5 – 300 Н.

Запишемо диференціальне рівняння обертального руху циліндра на етапі розгону

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{2gf}{R(1+f^2)\cos\alpha} \cdot \frac{G-fF}{G}, \quad (29)$$

яке розв'яжемо за початкових умов: $t=0$, $\omega=0$. Тоді

$$\omega = \frac{2gf}{R(1+f^2)\cos\alpha} \cdot \frac{G-fF}{G} t. \quad (30)$$

Кутова швидкість рулону зростає доти, доки не зрівняються лінійні швидкості точок дотику роликів і рулону, тобто

$$\omega_1 r_1 = \omega R. \quad (31)$$

З рівності (30) знаходимо час розгону циліндра $t = T$:

$$T = \frac{\omega_1 r_1 (1 + f^2) \cos \alpha}{2gf} \cdot \frac{G}{G - fF}. \quad (32)$$

Кутова швидкість ω_2 механізму, який здійснює обгортання циліндра стрічкою (води́ла), повинна бути узгоджена з кутовою швидкістю роликів. Якщо початкова ширина стрічки L_0 , а перекриття шарів H , то її робоча ширина становитиме:

$$L = L_0 - H. \quad (33)$$

Проте в процесі роботи робоча ширина стрічки L змінюється, тому що вона зазнає деформації розтягу внаслідок дії сили $\vec{F}_{н.н.}$, звідси:

$$L = L_0 - \nu \varepsilon(t) L_0, \quad (34)$$

де ν – коефіцієнт поперечної деформації матеріалу стрічки, який надалі вважатимемо сталим.

За цей час рулон циліндричної форми повинен повернутись на центральний кут, що спирається на дугу L , тобто має місце співвідношення

$$L = \omega_1 r_1 \cdot \frac{2\pi}{\omega_2}, \quad \text{або} \quad \omega_2 = \frac{2\pi \omega_1 r_1}{L}. \quad (35)$$

Знайдемо тривалість робочого процесу обгортання рулону сінажу полімерною стрічкою. Частота обертання механізму обгортання (води́ла) дорівнює:

$$n_{iá} = \frac{2pR}{2L} = \frac{pR}{L},$$

звідси тривалість процесу обгортання рулону сінажу полімерною стрічкою становить:

$$T_3 = t_2 \cdot n_{iá} = \frac{2\pi}{\omega_2} \cdot \frac{pR}{L} = \frac{2\pi^2 R}{\omega_2 L}. \quad (36)$$

Аналіз отриманих залежностей дає змогу стверджувати, що конструктивні, кінематичні і режимні параметри обгортача залежать від параметрів рулону сінажу та полімерної стрічки.

У *третьому розділі „Програма і методика експериментальних досліджень“* викладено програму експериментальних досліджень та обладнання і методики проведення експериментів для визначення кількісних значень параметрів фізичних і механічних властивостей полімерної стрічки та спресованої сінажної маси.

Для підтвердження адекватності теоретичних положень, викладених у другому розділі, програмою експериментальних досліджень передбачено: дослідження фізичних і механічних властивостей рулону сінажу і полімерної стрічки; встановлення рівняння стану полімерної стрічки і сінажної маси; експериментальне визначення параметрів рівняння стану полімерної стрічки і сінажної маси; розробка й виготовлення експериментальної установки обгортача рулонів сінажу; експериментальне дослідження технологічного процесу обгортання рулону сінажу полімерною стрічкою; перевірку роботоздатності запропонованої конструкції обгортача рулонів сінажу.

Для з'ясування властивостей релаксації рулону сінажу розроблено установку (рис. 9), що включає в себе основу 1, на якій встановлено досліджуваний

рулон 6, штатив 5 із індикатором 3 та шарнірно закріплено важіль 7, рух якого обмежують змінні пластини 8. До важеля 7 за допомогою проміжної пластини закріплено давач переміщення (тензодавач) 2. Для реєстрації та візуального відображення спаду зусилля в часі тензодавач 2 під'єднано до плати вводу/виводу інформації USB 6008, що підключена до комп'ютера.

Для визначення модулів пружності сінажної маси розроблено устаткування (рис. 10, 11), що складається з основи 1, на якій встановлено досліджуваний рулон 2, зверху на якому розташовано вантаж у вигляді металевого диска 3 і давач переміщення електромагнітного типу 4, що закріплений на штативі 5. Дачав переміщення 4 з'єднаний з платою АЦП (USB 6008), що підключена до комп'ютера б із програмним забезпеченням.

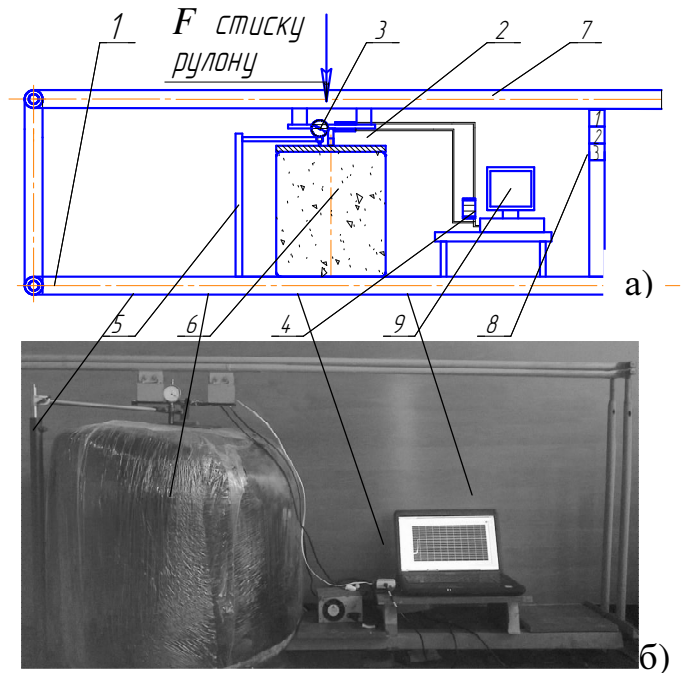


Рис. 9. Установа для дослідження властивостей релаксації напружень рулону сінажної маси:

а – схема; б – загальний вигляд.

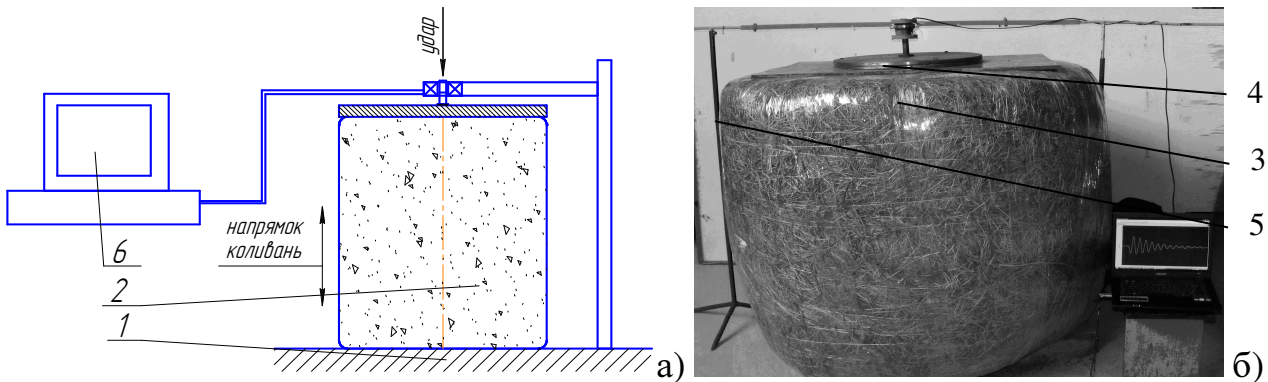


Рис. 10. Установа для визначення модуля Юнга динамічним методом:

а – схема; б – загальний вигляд.

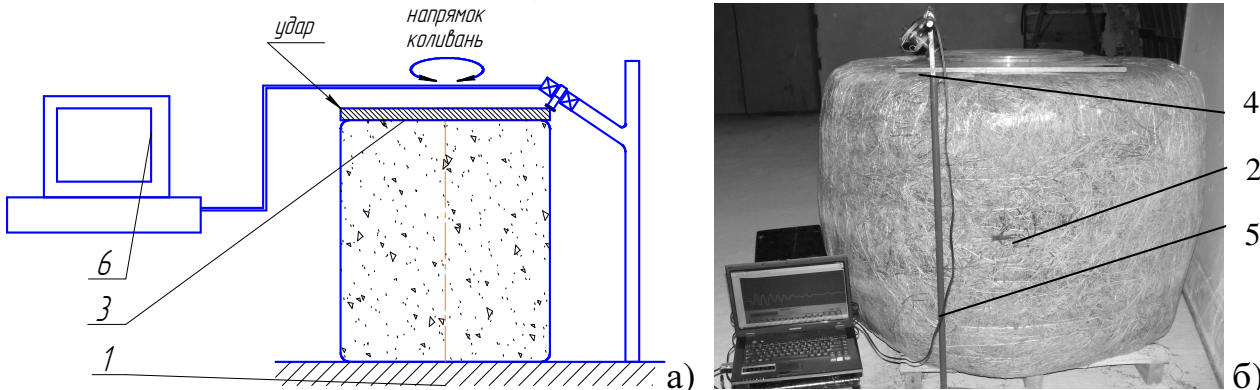


Рис. 11. Установа для визначення модуля зсуву динамічним методом:

а – схема; б – загальний вигляд.

Відмінність установки (рис. 10) від наведеної на (рис. 11) полягає в тому, що металевому диску надавали крутильних, а не осьових коливань.

Дослідження механічних та реологічних властивостей полімерної стрічки проводили аналогічно методиці дослідження параметрів рулону сінажної маси.

Для відображення, обробки та зберігання інформації використовували розроблену програму в середовищі LabVIEW (рис. 12). Дане середовище засноване на концепції графічного програмування віртуальних вимірювальних систем і систем вводу/виводу сигналів та дозволяє створювати додатки для збору, обробки і візуального відображення вимірюваних даних, що визначаються.

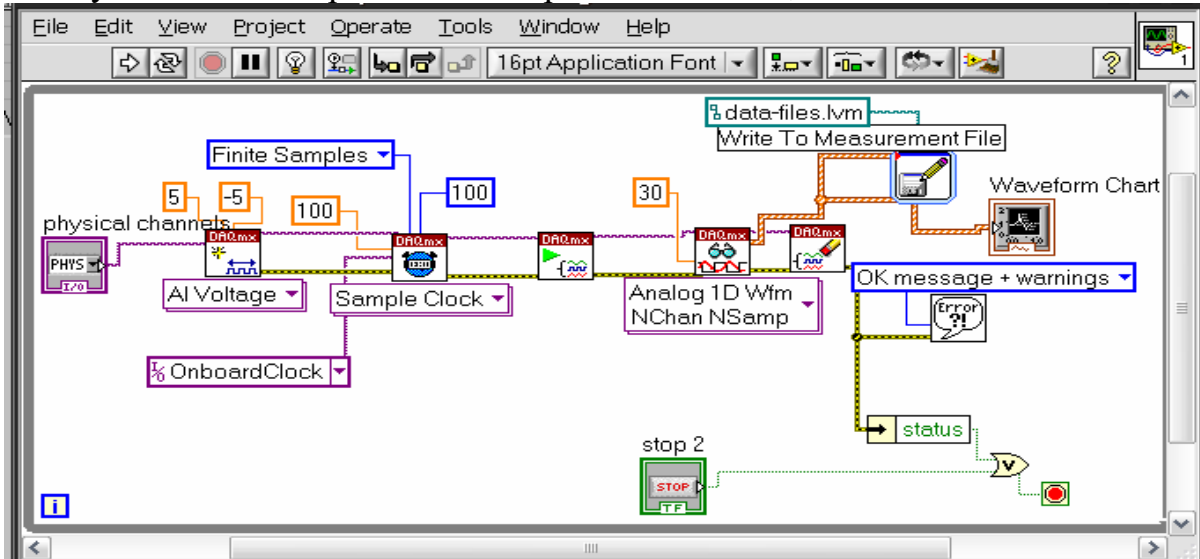


Рис. 12. Блок-діаграма комплексу віртуальних вимірювальних приладів.

Аналітично встановлено, що ядро повзучості $R(t - \Theta)$ рулону спресованої сінажної маси матиме такий вигляд:

$$R(t - \Theta) = \dot{A}_1 \dot{a}^{-B_0(t-\Theta)}. \quad (37)$$

Значення параметрів \dot{A}_1, \dot{A}_0 можемо отримати на основі кривої $\sigma(t)$ отриманої експериментально (взявши два значення напруження у відповідні їм моменти часу), та складемо систему рівнянь

$$\begin{cases} \frac{\sigma(t_1)}{\sigma_0} = 1 - \frac{\dot{A}_1}{\dot{A}_0} (1 - \dot{a}^{-B_0 t_1}) \\ \frac{\sigma(t_2)}{\sigma_0} = 1 - \frac{\dot{A}_1}{\dot{A}_0} (1 - \dot{a}^{-B_0 t_2}) \end{cases}, \quad (38)$$

за відомих напружень одержимо рівняння для визначення параметра \dot{A}_0 . Тоді

$$\dot{A}_1 = \frac{\left(1 - \frac{\sigma(t_1)}{\sigma_0}\right) B_0}{1 - \dot{a}^{-B_0 t_1}}. \quad (39)$$

Користуючись декрементом затухань коливань, визначаємо модулі пружності сінажної маси за наступними формулами:

$$\begin{array}{ll} \text{модуль Юнга} & \text{модуль зсуву} \\ \dot{A} = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot f_1^2 \cdot L^2 \cdot \rho}{\beta_1^2}, \text{ Па;} & \mu = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot f_2^2 \cdot L^2 \cdot \rho}{\beta_2^2}, \text{ Па;} \end{array} \quad (40)$$

де f_1, f_2 – частоти осьових і крутильних коливань, Гц ($f = \frac{1}{\tau_a}$); L – довжина дослідного зразка рулону сінажу, м; ρ – густина рулону сінажу, кг/м³; β_1, β_2 – параметри, що залежать від співвідношення маси зразка до маси вантажу, τ_a – період коливань (визначаємо з осцилограми коливного процесу (рис. 13));

$$\beta_1 = \sqrt{\frac{S \cdot \rho \cdot L}{m_a}}, \quad \beta_2 = \sqrt{\frac{j_{\xi\delta}}{j_a}}; \quad (41)$$

де $j_{zp}; j_g$ – полярні моменти інерції дослідного зразка і вантажу, кг·м; S – площа поперечного перерізу рулону, м²; m_g – маса вантажу, кг.

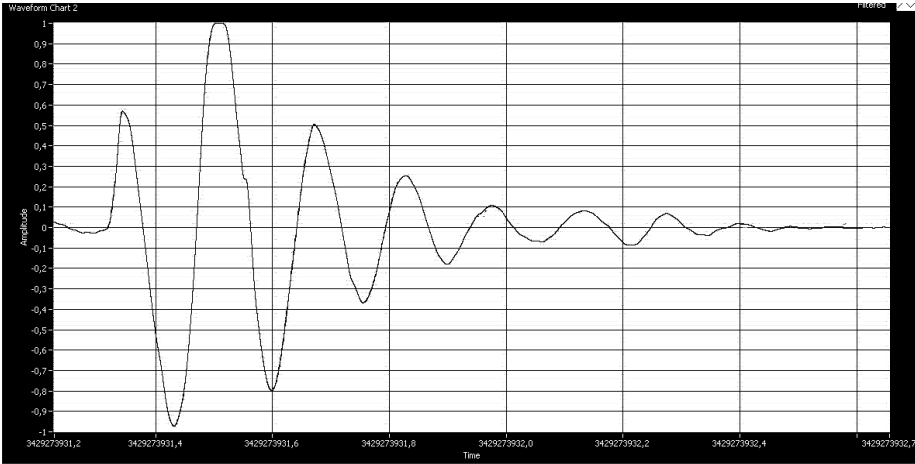


Рис. 13. Осцилограма коливного процесу системи „стрічка – вантаж“ (зразок стрічки № 1 температура 293К, ширина 100 мм, товщина 0,25 мм).

Модуль Юнга полімерної стрічки визначали за формулою

$$E = \frac{m_a \cdot l \cdot 4 \cdot \pi^2}{\dot{A} \cdot \tau_a^2}, \text{ Па} \quad (42)$$

де A – площа поперечного перерізу зразка стрічки, м²; l – початкова довжина зразка стрічки, м.

Дослідження процесу релаксації напружень у полімерній стрічці здійснювали таким чином. З графіка, отриманого на основі експерименту (рис. 14), отримали значення часу $t_1 = \Theta_1, t_2, t_3$ і відповідні їм значення сил F_1, F_2, F_3 та визначали напруження $\sigma = \frac{F}{\dot{A}_0}$ (\dot{A}_0 – початкова площа поперечного перерізу

стрічки) і спад зусилля натягу полімерної стрічки

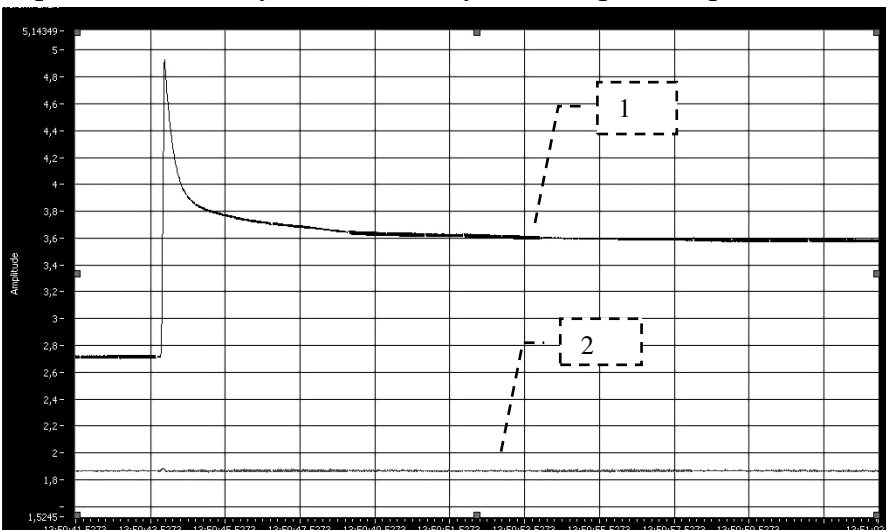


Рис. 14. Зразок діаграми спаду зусилля натягу полімерної стрічки в часі та температури в камері (зразок стрічки № 2, температура 303К, відносна деформація 0,375): 1 – крива релаксації зусилля натягу; 2 – рівень температури в камері.

$$\Delta = \frac{F_1 - F_2}{F_1 (1 - e^{-k(t_2 - \Theta_1)})}; \quad (43)$$

та визначали параметри резольвенти c_0 і γ

$$c_0 = \frac{1}{\text{Å}} \frac{\Delta}{1 - \Delta}; \quad (44)$$

$$\gamma = k(1 - \Delta). \quad (45)$$

Для проведення експериментальних досліджень процесу обгортання розроблено лабораторну установку обгортача рулонів сінажу (рис. 15), що складається з рами 1, на якій розміщено три опорно-приводні вальці, що з'єднані

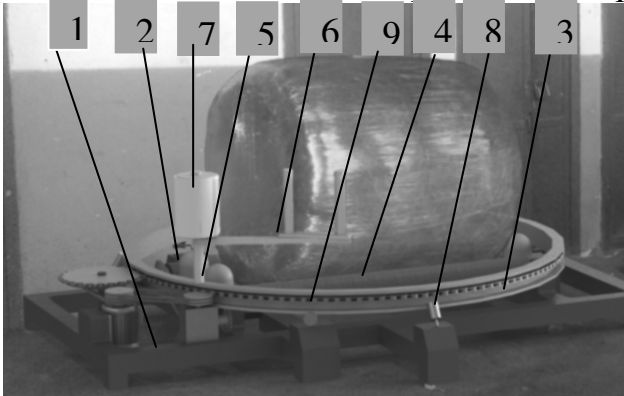


Рис. 15. Експериментальна установка стаціонарного обгортача рулонів сінажу: 1 – рама; 2 – запобіжні ролики; 3 – поворотна платформа; 4 – опорно-приводні вальці; 5 – водило; 6 – натяжний пристрій (вилка); 7 – котушка з полімерною стрічкою; 8 – притискні ролики; 9 – опорні кінчні ролики.

попередньо між собою ланцюговою передачею. На поворотній платформі 3, що обертається навколо вертикальної осі на трьох кінчних роликах 9, встановлених на рамі 1, вертикально закріплене водило 5, на яке встановлюється котушка із намотаною стрічкою плівки 7. На водилі 5 шарнірно закріплена натяжна вилка 6. Опорно-приводні вальці і поворотна платформа приводяться в рух від електродвигуна через редуктор і контрпривод. Натяг плівки здійснюється натяжноювилкою 6. Сила натягу регулюється поворотом натяжних пальціввилки 6, між якими проходить стрічка плівки, за рахунок збільшення або зменшення тертя між пальцями і плівкою. Для запобігання осьовому зміщенню рулону вздовж вальців 4 внаслідок нециліндричності рулону передбачено чотири запобіжних ролики 2.

У четвертому розділі „Результати експериментальних досліджень“ висвітлено та проаналізовано результати проведених досліджень: миттєвих модулів Юнга і зсуву рулонів сінажної маси та встановлено зміну її реологічних властивостей протягом процесу обгортання. Також визначали параметри інтегрального рівняння стану полімерної стрічки та встановили залежність модулів пружності полімерної стрічки від температури навколишнього середовища.

З метою зменшення кількості факторів у експерименті проведено їх ранжування методом відсівного експерименту, у результаті чого встановлено, що на роботу обгортача найбільше впливають три фактори: x_1 – зусилля натягу полімерної стрічки, x_2 – кут між осями опорно-приводних роликів і віссю рулону (кут стійкості), град. та x_3 – густина рулону сінажу, кг/м^3 .

Для встановлення впливу визначальних факторів на якість отриманого корму проведено факторний планований експеримент на трьох рівнях (1/2 репліки), на основі чого отримали рівняння регресії у формі кодованих значень:

$$y = 9,45 - 1,333x_1 - 0,7x_2 - 3x_3 - 0,5x_1x_2 - 0x_1x_3 + 0,5x_2x_3 - 0,2949x_1^2 - 0,136x_2^2 - 0,4744x_3^2. \quad (46)$$

Відсів малозначущих членів рівняння регресії здійснювали згідно з критерієм Стюдента. У такому разі рівняння регресії в натуральному вигляді факторів запишемо так:

$$y = 14,4 + 0,0007F - 0,018\alpha + 1,06\rho. \quad (47)$$

На основі рівняння (46) побудовано поверхні відгуку (рис. 16-18). Під час побудови поверхонь відгуку варіювались тільки два фактори, а третій залишався рівним нулю. Для цього нами було використано програмне забезпечення Statistica.

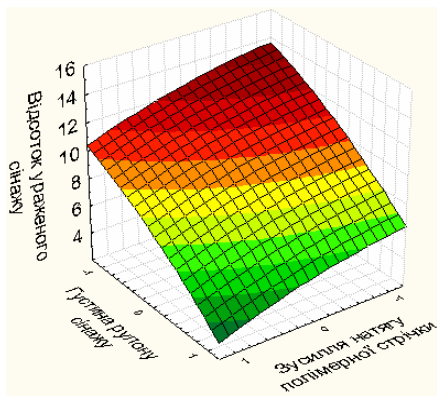


Рис. 16. Поверхні відгуку % ураження сінажу = $f(\rho, F)$

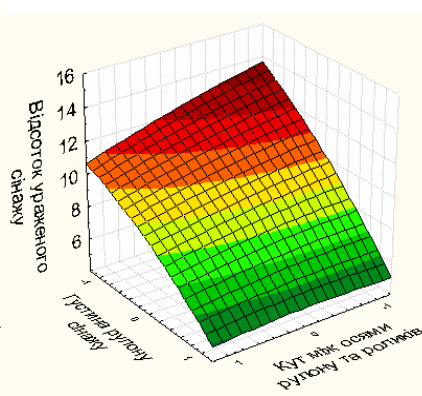


Рис. 17. Поверхні відгуку % ураження сінажу = $f(\alpha, \rho)$

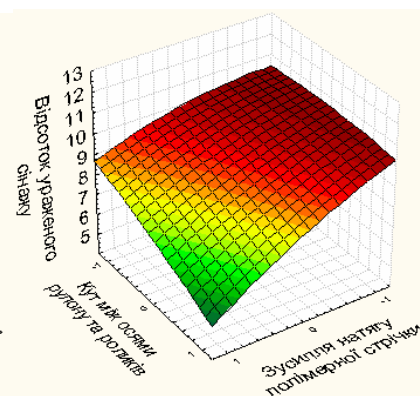


Рис. 18. Поверхні відгуку % ураження сінажу = $f(\alpha, F)$

Як видно з рис. 16-18 за збільшення факторів густини та зусилля натягу полімерної стрічки відсоток ураженого корму знижується до 4 %, а для кута між центром рулону та центрами опорно-приводних роликів залежності майже лінійні і немає потреби в подальшому їх аналізі.

Виробничі випробування роботи обгортача показали, що якість обгортання рулонів сінажу задовільна. Обгортання рулонів у чотири шари стрічки (за два проходи обгортувального механізму) повністю забезпечує герметичність рулонів протягом терміну зберігання і міцність одержаного покриття.

Під час зберігання заготовленого в рулонах сінажу виявлено, що протягом першого місяця з'явилися лише окремі незначні сліди плісняви на поверхні рулонів під полімерною стрічкою. Через два місяці зберігання в рулонах з низькою щільністю пресування були значні ураження сінажу пліснявою. За густини рулону $141,4 \text{ кг/м}^3$ пліснявою було уражено 58% сінажу, а за густини 237 кг/м^3 – 13,2%.

У *n'*тому розділі „Техніко-економічне обґрунтування стаціонарного обгортача рулонів сінажу“ проведено економічну оцінку ефективності від застосування технології заготівлі сінажу в рулонах, обгорнутих полімерною стрічкою, на основі порівняння стаціонарного та мобільного обгортачів рулонів сінажу.

Використання стаціонарного обгортача із сумарною споживаною потужністю, що не перевищує 2 кВт, порівняно з мобільним обгортачем дає змогу знизити зведені затрати на 32,1 %, які становлять 13,3 грн/га, а капітальні вкладення на 16,1 %, або 9,24 грн/га. Проведені розрахунки підтверджують ефективність застосування стаціонарного обгортача рулонів сінажу та доцільність використання схеми обгортання (2+2), що в 1,5 рази зменшує кількість намотаних шарів полімерної стрічки та дає змогу отримати річний економічний ефект із площі 67 га – 13791,93 грн.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі запропонована конструкція обгортача рулонів сінажу полімерною стрічкою з науково обґрунтованими технічно-технологічними параметрами, що дає змогу підвищити ефективність процесу заготівлі сінажу. В основу цього покладено наступні результати і висновки:

1. На підставі аналізу технологій та засобів для обгортання рулонів сінажу полімерною стретч-плівкою за критеріями корисності, енергоємності процесу встановлено, що обгортання рулонів сінажу в стаціонарних умовах дасть змогу зменшити затрати енергії на пересування машини, шкідливий вплив рушіїв агрегату на ґрунт, а також втрати внаслідок пошкодження плівкового покриття (розгерметизації) під час виконання навантажувально-розвантажувальних і транспортних робіт.

2. Попередніми дослідженнями обґрунтовано рівняння, що описує деформування в'язко-пружного рулону сінажу і полімерної стрічки та може бути прийняте у вигляді інтегрального рівняння Вольтера другого роду.

3. На основі теоретичних досліджень взаємодії опорно-приводних роликів з рулоном спресованої сінажної маси встановлено умову їх зчеплення за густини рулону не менше 300 кг/м^3 , що забезпечує роботоздатність обгортача.

4. З умови стійкості рулону сінажної маси та з урахуванням зусилля натягу полімерної стрічки до 300 Н (зумовленого її механічними властивостями) встановлено, що кут між осями опорно-приводних роликів і віссю рулону повинен бути в межах від 17 до 22 градусів.

5. У результаті проведених експериментальних досліджень механічних властивостей рулонів сінажу динамічним методом встановлено, що для спресованих рулонів із бобових травосумішок густиною $230 - 389 \text{ кг/м}^3$ та вологістю $40 - 55 \%$ миттєвий модуль пружності першого роду становить $0,72 - 1,5 \text{ МПа}$, другого роду – $0,43 - 0,915 \text{ МПа}$, а для рулонів сінажу зі злакових травосумішок густиною $307 - 456 \text{ кг/м}^3$ та вологістю $40 - 55 \%$ миттєвий модуль пружності першого роду становить $0,83 - 2,03 \text{ МПа}$, другого роду – $0,51 - 1,24 \text{ МПа}$. Експериментально встановлено параметри резольвенти інтегрального рівняння стану рулону сінажної маси $R(t - \Theta) = \dot{A} \dot{a}^{-B_0(t-\Theta)}$, що становлять: $A_1 = 0,09 - 0,16$; $B_0 = 0,1 - 5,36$; $\Delta = 0,05 - 1,56$.

6. Експериментальними дослідженнями встановлено, що із зростанням температури пружні властивості полімерних стрічок зменшуються, а пластичність підвищується. За температури навколишнього середовища в діапазоні від 293 К до 323 К модуль пружності першого роду для полімерної стретч-плівки LLDPE (прозора) становить $13,5 - 5,5 \text{ МПа}$, а LLDPE (чорного кольору) – $15 - 5 \text{ МПа}$. Резольвента інтегрального рівняння стану для обох типів полімерних стрічок представлена таким чином: $R(t, \Theta) = \gamma c_0 e^{-k(t-\Theta)}$, параметри якої c_0 , k , Δ 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 $8,55 - 0,84$.

7. З умови стійкості рулону та з урахуванням деформації полімерної стрічки залежно від нерівномірного зусилля натягу (змінний радіус охоплення) встановлено, що швидкість її розмотування повинна бути в межах від $0,5$ до $0,7 \text{ м/с}$.

8. Методом відсівного експерименту встановлено, що основними факторами для якісного обгортання (герметизації) рулонів сінажу є: кут між осями опорно-приводних роликів та віссю рулону, густина рулону сінажу, зусилля натягу полімерної стрічки.

9. На основі проведених досліджень розробленої експериментальної установки обгортача рулонів сінажу полімерною стрічкою встановлено наступні технологічні параметри обгортання для рулонів діаметром 1,2...1,5 м, довжиною 1,2...1,5 м, масою 400...800 кг, діаметром вальців 0,156 м, шириною обгортувальної стрічки 0,5 м, зусиллям її натягу 200 Н та взаємним перекриттям витків 50% (0,25 м):

- частота обертання опорно-приводних роликів становить 6,6 об./хв;
- частота обертання водила – 9,5 об./хв.;
- тривалість процесу становить близько 2,0 хв.

10. Експериментально отримано рівняння регресії якісного обгортання: $y=14,4+0,0007F-0,018\alpha+1,06r$ залежно від густини спресованого корму (щільності рулону), зусилля натягу полімерної стрічки і кута між осями опорно-приводних роликів та віссю рулону. Підвищення щільності пресування рулонів сінажу понад 400 кг/м^3 та збільшення зусилля натягу полімерної стрічки до 280 Н уможливорює зниження ураження корму пліснявою до $4 \pm 0,6 \%$.

11. Виробничі випробування обгортача показали, що обгортання рулонів на стаціонарі в чотири шари стрічки (за два проходи обгортувального механізму) забезпечує достатню герметичність рулонів (протягом періоду зберігання) і міцність одержаного покриття.

12. Порівняльний аналіз техніко-економічних показників стаціонарного обгортача рулонів сінажу з електроприводом та мобільного обгортача показав, що прямі затрати зменшуються на 34 % за продуктивності 6 т/год, а річний економічний ефект із площі 67 га становить 13791,93 грн.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях

1. Обгортання рулонів сінажу полімерною плівкою / Л. Д. Пйонтик, М. Д. Бурнаєв, М. В. Івасечко, А. Я. Здобицький // Вісник ЛДАУ : агроінженерні дослідження. – 2006. – № 10. – С. 236-243. (Автору належать основні ідеї дослідження технологічного процесу заготівлі кормів).

2. Здобицький А. Я. Стан і тенденції у заготівлі сінажу / А. Я. Здобицький // Вісник ЛДАУ : агроінженерні дослідження. – 2007. – № 11. – С. 148-152.

3. Обґрунтування параметрів обгортача рулонів сінажу / В. М. Сиротюк, І. О. Ніщенко, О. М. Крупич, А. Я. Здобицький // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь : ТДАТА, 2007. – Вип. 7, т. 4. – С. 171-176. (Автору належать основні ідеї щодо обґрунтування параметрів обгортача рулонів сінажу).

4. Сиротюк В. М. Методика дослідження модулів пружності рулонів сінажу / В. М. Сиротюк, А. Я. Здобицький, З. О. Гошко // Вісник ЛНАУ: агроінженерні дослідження. – 2009. – № 13, т. 1. – С. 131-138. (Автором запропоновано методику проведення експериментальних досліджень).

5. Ніщенко І.О. Дослідження впливу напружено-деформованого стану полімерної стрічки на ефективність процесу обгортання / І. О. Ніщенко, А. Я. Здобицький // Вісник ЛНТУ : сільськогосподарські машини. – 2011. – Вип. 21, т. 1. – С. 309-313. *(Автором виведено аналітичні залежності, що описують допустимі деформації полімерної стрічки в процесі обгортання).*

6. Взаємодія приводних роликів із рулоном сінажу в процесі його обгортання полімерною стрічкою / В. М. Сиротюк, І. О. Ніщенко, О. М. Крупич, А. Я. Здобицький // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка : сучасні проблеми вдосконалення технічних систем і технологій у тваринництві. – 2011. – № 108. – С. 153-158. *(Автором розроблена структурна модель дослідження взаємодії рулону сінажу з опорно-приводними роликами в процесі обгортання).*

7. Сиротюк В. М. Визначення деформації полімерної стрічки в процесі обгортання / В. М. Сиротюк, І. О. Ніщенко, А. Я. Здобицький // MOTROL. Commission of Motorization and energetics in agriculture. – 2012. – Vol. 14, No 4. – P. 44 – 47. *(Автором виведено аналітичні залежності щодо визначення параметрів рівняння стану полімерної стрічки).*

Патент

8. Пат. № 21911 У Україна, МПК В65В 11/00. Обгортач рулонів сінажу полімерною плівкою / Здобицький А. Я., Бурнаєв М. Д., Пйонтик Л. Д., Івасечко М. В., Сиротюк В. М., Крупич О. М. – заявл. 16.10.06; опубл. 10.04.07, Бюл. № 4. *(Автору належить ідея розробки конструкції приводу водила обгортача рулонів сінажу).*

Матеріали і тези конференцій

9. Сиротюк В. М. Обґрунтування параметрів обгортача рулонів сінажу / В. М. Сиротюк, І. О. Ніщенко, А. Я. Здобицький // Теорія і практика розвитку АПК : матеріали Міжнар. наук.-практ. форуму, (Львів, 19-20 верес. 2006 р.). – Львів : Львів. держагроуніверситет, 2006. – С. 242-246. *(Автору належать дослідження технологічного процесу обгортання сінажу спресованого в рулон).*

10. Здобицький А. Я. Обґрунтування параметрів обгортача рулонів сінажу / А. Я. Здобицький // Молодежь и сельскохозяйственная техника в XXI веке : материалы Междунар. форума молодежи, (Харьков, 4-7 апр. 2007 г.). – Харьков : Харьк. науч.-техн. ун-т сельс. хоз-ва им. П. Василенко, 2007. – С. 195.

11. Здобицький А. Я. Методика дослідження фізико-механічних властивостей полімерної стрічки / А. Я. Здобицький // Матеріали Міжнародного науково-практичного форуму „Теоретичні основи і практичні аспекти використання ресурсощадних технологій для підвищення ефективності агропромислового виробництва і розвитку сільських територій“, 18-21 верес. 2012 р. Львів : Львів. НАУ, 2012. – С. 496-502.

Каталог наукових розробок

12. Сиротюк В. М. Обгортач рулонів сінажу полімерною плівкою / В. М. Сиротюк, А. Я. Здобицький // Вчені факультету механіки та енергетики Львівського національного аграрного університету. Вип. 1. – Львів : Львів. держагроуніверситет, 2008. – С. 125-126. *(Автору належать основні ідеї щодо вдосконалення конструкції обгортача рулонів сінажу).*

АНОТАЦІЯ

Здобицький А. Я. Розробка стаціонарного обгортача рулонів сінажу і обґрунтування його технічно-технологічних параметрів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва. – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України, Тернопіль, 2013.

Дисертацію присвячено питанням підвищення ефективності технологічного процесу заготівлі сінажу в рулонах обгорнутих полімерною стрічкою, на основі обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів обгортача з урахуванням фізико-механічних властивостей рулону сінажної маси та полімерної стрічки. Теоретично досліджено: процес перекочування рулону на опорно-приводних роликах, стійкість рулону сінажу під час обгортання полімерною стрічкою та її напружено-деформований стан, обґрунтовано кінематичні, конструктивні та режимні параметри обгортача рулонів сінажу.

Експериментально досліджено миттєві модулі пружності першого і другого роду рулону сінажної маси і полімерної стрічки та параметри резольвенти інтегрального рівняння, що прийняте як рівняння стану. Встановлено кореляційну залежність рівня збереженості корму від кута між осями опорно-приводних роликів та віссю рулону, густини рулону сінажу і зусилля натягу полімерної стрічки.

Застосування стаціонарного обгортача рулонів сінажу дасть змогу підвищити ефективність процесу герметизації налагодженням обгортача на режимні параметри залежно від температури навколишнього середовища, типу полімерної стрічки та густини рулону.

Ключові слова: стаціонарний обгортач, рулон сінажу, полімерна стрічка, деформація, напруження, рівняння стану, якість корму, щільність пресування, ураження пліснявою, енергоємність.

АННОТАЦИЯ

Здобицький А. Я. Разработка стационарного обматывателя рулонов сенажа и обоснования его технико-технологических параметров. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.11 – машины и средства механизации сельскохозяйственного производства. – Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя Министерства образования и науки Украины, Тернополь, 2013.

Диссертация посвящена вопросам повышения эффективности технологического процесса заготовки сенажа в рулонах, обвернутых полимерной лентой, на основе оптимизации конструктивно-технологических параметров обматывателя с учетом физико-механических свойств рулона сенажной массы и полимерной ленты. Теоретически исследованы: процесс перекатывания рулона по опорно-приводным роликам, устойчивость рулона сенажа во время обматывания полимерной лентой и ее напряженно-деформированное состояние, обоснованы кинематические, конструктивные и режимные параметры обматывателя рулонов сенажа.

Экспериментальными исследованиями рулонов сенажной массы установлено, что модуль упругости одноосного сжатия (растяжения) и модуль сдвига

зависят как от влажности, так и от плотности и ботанического состава спрессованной растительной массы. Для повышения эффективности процесса герметизации и снижения потерь корма модуль Юнга должен быть больше 0,8 МПа, а модуль сдвига - 0,3 МПа. Экспериментально определены параметры уравнения состояния рулона сенажа свидетельствуют о том, что для обеспечения надежного сцепления рулона с опорно-приводными роликами необходимо обеспечение плотности рулона более 300 кг/м³. Экспериментально полученные параметры уравнения состояния полимерных лент свидетельствуют о том, что для обеих типов лент с увеличением температуры окружающей среды свыше 313 К механические характеристики ухудшаются, что не позволяет осуществлять обертывание рулонов сенажа с усилием натяжения ленты свыше 100 Н.

Применение стационарного обматывателя рулонов сенажа дает возможность повысить эффективность процесса герметизации налаживанием его на режимные параметры в зависимости от температуры окружающей среды, типа полимерной ленты и плотности рулона.

Ключевые слова: стационарный обматыватель, рулон сенажа, полимерная лента, деформация, напряжение, уравнение состояния, качество корма, плотность прессования, поражения плесенью, энергоемкость.

ANNOTATION

Zdobytskiy A. Y. Working out the stationary haylage bale wrapper of and grounding of its technically-technological parameters. – On the rights of manuscript.

Thesis for degree of candidate of technical sciences by specialty 05.05.11 - machines and means of mechanization of agricultural production. - Ternopil National Technical University named after Ivan Puljuy of Ministry of Education and Science of Ukraine, Ternopil, 2013.

Dissertation deals with the questions of efficiency increase of technological process of haylage purveyance in bale wrapped up by a polymeric tape, on the basis of grounding the structural and technological parameters of wrapper with taking into account of the physical and mechanical properties of wrapper bale of haylage mass and polymeric tape. Following elements are theoretically researched: process of bale rolling on support-rotating rollers, stableness of haylage bale during polymeric tape packing and the tensely-deformed state of tape, and also the kinematics, structural and regime parameters of haylage wrapper bale are grounded.

The instantaneous modules of resiliency of the first and second type of haylage mass bale and polymeric tape are experimentally researched, and also the parameters of resolvent of integral equalization which is accepted as the state equalization. The cross-correlation dependence of feed conservation level on a corner between the support-rotating rollers axes and bale axis, haylage bale density and force of polymeric tape tension are determined.

The stationary haylage bale wrapper using gives an opportunity to increase the effectiveness of technological process of tightening by wrapper setting up on regime parameters depending on an environment temperature, type of polymeric tape and bale density.

Key words: stationary wrapper, bale of haylage, polymeric tape, deformation, tension, equalization of the state, quality of feed, closeness of pressing, mould defeat, power-capacity.