

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МІЛЬКО ДМИТРО ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 631.363:636.22/28

**МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНІЧНОЇ
СИСТЕМИ КОРМОЗАГОТІВЛІ НА МОЛОЧНИХ ФЕРМАХ**

Спеціальність 05.05.11 – машини і засоби
механізації сільськогосподарського виробництва

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Мелітополь – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Таврійському державному агротехнологічному університеті Міністерства освіти і науки України.

Офіційні опоненти: **Брагінець Микола Володимирович**, доктор технічних наук, професор, Луганський національний аграрний університет, в.о. ректора;

Чурсінов Юрій Олексійович, доктор технічних наук, професор, Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет, завідувач кафедри технології зберігання та переробки сільськогосподарської продукції;

Гевко Роман Богданович, доктор технічних наук, професор, Заслужений винахідник України, Тернопільський національний економічний університет, в.о. завідувача кафедри менеджменту біоресурсів і природокористування.

Захист відбудеться «10» _____ лютого _____ 2017р. о 10 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 18.819.01 у Таврійському державному агротехнологічному університеті за адресою: 72310, м. Мелітополь, пр. Б. Хмельницького 18.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Таврійського державного агротехнологічного університету за адресою: 72310, м. Мелітополь, пр. Б. Хмельницького 18.

Автореферат та дисертація розміщені за адресою в мережі Internet <http://www.tsatu.edu.ua/nauka/specializovani-vcheni-radu/>

Автореферат розісланий « 28 » _____ грудня _____ 2016р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

С.О. Квітка

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Молочне скотарство є важливою галуззю сільського господарства України. Від його розвитку безпосередньо залежить ефективність функціонування молокопродуктового підкомплексу, завданням якого є забезпечення продовольчої безпеки держави. Молоко займає другу позицію в структурі валової продукції тваринництва і протягом останніх 5 років його частка становить близько 15%.

Останнім часом в країні має місце занепад тваринницької галузі. Зокрема, відбувається стійке скорочення поголів'я худоби, зменшення виробництва і споживання молока, зберігається висока собівартість його виробництва. Остання обумовлена неможливістю існуючих технологій забезпечити відповідну якість молока.

Оскільки корми складають більшу частину собівартості продукції тваринництва і визначають її якість, а частка витрат на них в собівартості молока перевищує 60%, то найбільший інтерес викликають технології, які дозволяють виробляти більш якісніші корми при зниженні їх собівартості. Консервовані корми складають основу зимових раціонів (понад 50% загальної поживності раціонів) великої рогатої худоби. Крім того доведено, що від високопродуктивних корів можна надоювати у рік 6-7 т. молока, за однотипної цілорічної системи годування, основу якої складають високоякісні консервовані корми. Однак, при заготівлі саме цих кормів мають місце найбільші втрати поживних речовин (силосу - 20-30%, сінажу - 15-20%), зумовлені, насамперед, недосконалістю вітчизняних технологій заготівлі консервованих кормів.

Такий стан речей створює **народногосподарську проблему**, яка обумовлює низьку техніко-технологічну ефективність кормозаготівлі. У першу чергу це стосується недостатньої якості отриманої кормової сировини.

Вирішення даної народногосподарської проблеми неможливо без розв'язання відповідної **науково-технічної проблеми**. Суть її полягає в покращенні параметрів та функціонально-якісного забезпечення технічної системи кормозаготівлі молочного скотарства. Вирішення цієї проблеми дозволяє перевести галузь на інноваційні технології кормозаготівлі із зниженням затрат на виробництво молока.

Відомі нині елементи механіко-технологічних основ вирішення вказаної науково-технічної проблеми є неповними оскільки вони не дозволяють розв'язати питання уникнення процесу релаксації та руйнування рослинної сировини після її ущільнення звичайними пресами в одну стадію та зменшення доступу повітря до неї під час зберігання. Необхідність усунення вказаних недоліків і обумовлює актуальність теми даної дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана у відповідності з планом держбюджетних НДР Таврійського державного агротехнологічного університету Міністерства освіти і науки України "Розробити науково-методичні основи та обґрунтувати параметри біотехнічної системи виробництва молока" (держреєстрація №0111U002546), "Розробити енергоощадні і ресурсозберігаючі технологічні процеси і засоби механізації заготівлі та приготування кормів на стаціонарному комплексі переробки всього біологічного врожаю рослинництва" (держреєстрація № 0101U007027), що входять до галузевої науково-технічної програми.

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є зменшення виробничих витрат та покращення якості консервованих кормів шляхом розроблення нових основ створення технічної системи кормозаготівлі на молочних фермах.

Для досягнення поставленої мети передбачено розв'язання наступних задач дослідження:

- провести аналіз сучасного стану використання технічних засобів для заготівлі кормів на молочних фермах і на його основі розробити систему удосконалених методологічних підходів до вирішення цієї проблеми;
- розробити математичну модель ущільнення рослинної кормової сировини і на її основі оцінити вплив конструктивних параметрів та режимів роботи технічного обладнання на якісні та енергетичні показники процесу заготівлі кормів;
- вивчити і уточнити фізико-механічні властивості рослинної сировини, необхідні для теоретичного обґрунтування конструктивних параметрів та режимів роботи робочих органів машин, здійснюючих її закладання на довготривале зберігання у полімерних сховищах;
- дослідити вплив конструктивних параметрів елементів лінії двоступеневого ущільнення та структурування рослинної кормової сировини із одночасним внесенням сипкого консерванту на показники її збереженості;
- розробити технологічний регламент ущільнення і пакування у полімерні сховища кормової рослинної сировини із додаванням сипкого консерванту та визначити його техніко-економічну ефективність при застосуванні на молочних фермах.

Об'єкт дослідження – процеси функціонування технічної системи кормозаготівлі на молочних фермах.

Предмет дослідження – закономірності впливу параметрів механізованих технологічних процесів технічної системи кормозаготівлі молочних ферм на якісні показники отриманої продукції.

Методи дослідження. При вирішенні поставлених задач досліджень було використано наступні методи: класичних положень математики, фізики, теоретичної механіки і опору матеріалів; теорії різання; графоаналітичні методи; теорії інженерного експерименту; електричного вимірювання електричних і неелектричних величин; статистичного і регресійного аналізу експериментальних даних; математичного моделювання.

Наукова новизна одержаних результатів.

На підставі застосування вперше запропонованих коефіцієнтів збереженості поживних речовин кормів та енергетичної ефективності технічної системи кормозаготівлі, удосконалено методологічні основи оцінки її техніко-технологічних параметрів, а також процес прогнозування продуктивності великої рогатої худоби.

Виведено нові аналітичні залежності між модулями зсуву і згинання стеблових матеріалів, а також між їх діаметрами та зусиллями на скручування і вигин, застосування яких дозволяє здійснювати розрахунок напружень і деформацій рослинної сировини, виникаючих у процесі її ущільнення.

Отримано нові закономірності впливу конструктивно-технологічних параметрів елементів лінії двоступеневого ущільнення рослинної сировини на процес її за-

кладання до полімерних сховищ із одночасним внесенням сипкого консерванту.

На підставі подальшого розвитку диференціальних рівнянь напружень, а також величин та швидкостей деформації ущільнювального матеріалу встановлено нові закономірності впливу на нього конструктивних і енергетичних параметрів прямолінійного та клиноподібного каналів ущільнювального пресу.

Удосконалено математичний апарат визначення основних параметрів процесу відокремлення попередньо ущільненої рослинної сировини такими робочими органами (у тому числі і гвинтовими), які забезпечують її подальше рівномірне розпушування.

Виведено нові аналітичні залежності, які дозволяють здійснити вибір таких конструктивних параметрів двогвинтового ущільнювача рослинної сировини, які забезпечують процес якісного її структурування і подальшого збереження.

Практичне значення одержаних результатів.

Методологічні основи дисертаційного дослідження з обґрунтування нових схем, а також конструктивних параметрів та режиму роботи технологічних ліній для ущільнення і тривалого зберігання кормів рослинного походження для великої рогатої худоби прийнято до упровадження ТОВ «НВО» Укрхімпроммаш» в м. Мелітополь Запорізької обл. (акт від 29.09.2015р.).

За результатами досліджень автора розроблено потокову технологічну лінію двоступеневого ущільнення та закладання рослинної сировини до полімерних сховищ, яка включає прес попереднього і двогвинтовий пристрій подальшого ущільнення стеблової маси, а також дозатор сипкого консерванту та прилад для контролю якості ущільненої маси. Вказана лінія пройшла широкі виробничі випробування у ТОВ «АГРОДОМ» Нижньосірогозького району Херсонської та у ФГ «Альфа-Юг» Чернігівського району Запорізької областей, що підтверджено актами (акти від 17.06.2015р. та від 23.06.2015р. відповідно).

Основні положення дисертаційного дослідження використовуються у програмах навчальних дисциплін «Моделювання технологічних процесів у АПК» і «Проектування технологічних процесів у тваринництві» Таврійського державного агротехнологічного університету в м. Мелітополь Запорізької обл. (акт від 16.11.2015р.).

Особистий внесок здобувача. Основні результати дисертаційної роботи отримано здобувачем самостійно [3, 6, 8, 11 - 19, 21 - 25, 28 - 35, 39, 40, 42, 45 - 49]. У наукових працях, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належить: розробка схеми технологічного обладнання для заготівлі рослинної сировини на основі аналізу результатів існуючих досліджень [1, 4, 5, 37, 38, 41, 43, 44], запропоновано методику оцінки ефективності зберігання кормів із використанням окремих параметрів техніко-технологічного забезпечення тваринництва [7, 9, 20, 26], розроблено рекомендації щодо створення повнораціонних кормів із оцінкою параметрів процесу внесення дрібнодисперсних матеріалів [10, 36]. Розроблення дослідного обладнання та проведення експериментальних досліджень здійснювалися самостійно. Дослідження проводилися на базі Таврійського державного агротехнологічного університету та його відокремлених структурних підрозділів. Постановка задач, аналіз і трактування отриманих результатів виконано спільно з науковим консультантом та частково із співавторами публікацій. У технічних рішеннях, новизна яких захищена патентами України на винахід та корисні моделі, частка здобувача складає понад

80%. Загальна частка участі в опублікованих у співавторстві працях – до 90%.

Апробація результатів дисертації. Матеріали основних положень дисертаційної роботи доповідались й одержали схвалення на щорічних науково-технічних конференціях ННЦ „ІМЕСГ” з 2011 по 2014 рр.; науково-практичних конференціях “Технічний прогрес в АПК”, які відбувалися в Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенко у м. Харків з 2012 по 2015 рр.; науково-технічній конференції науково-педагогічних працівників “Сучасні проблеми землеробської механіки”, яка відбулася в Дніпропетровському державному аграрному університеті у м. Дніпропетровськ у 2012 р, науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу, аспірантів та магістрів Таврійського державного агротехнологічного університету, які проводилися в м. Мелітополі з 2008 по 2014 рр.

Публікації. За результатами дисертації опубліковано 49 робіт (11,37 у.д.а.), у тому числі 27 в наукових фахових виданнях України (4,05 у.д.а.), 6 робіт в матеріалах і тезах конференцій (1,08 у.д.а.), 8 статей у закордонних та міжнародних наукометричних виданнях (1,92 у.д.а.), отримано 7 патентів на корисну модель, одноосібно виконано 30 публікацій (8,04 у.д.а.).

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, 6 розділів, висновків, 15 додатків і списку використаних джерел, викладена на 419 сторінках машинописного тексту, включає 95 рисунків і 48 таблиць. Список використаних джерел містить 303 найменування.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, зв'язок роботи із науковими програмами, планами і темами, сформульована мета, задачі дослідження, наведено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів.

У першому розділі «Аналіз техніко – технологічного забезпечення кормозаготівлі. Проблеми та напрямки дослідження» розглянуто сучасний стан молочного скотарства, проаналізовано технології та технічні засоби виробництва основних компонентів збалансованих раціонів і технічної системи кормозаготівлі.

Системний підхід до вирішення проблем кормозабезпечення був запропонований такими дослідниками, як А. О. Артющин, Є. І. Резник, А. Д. Гарькавий, Й. Ю. Сірвідіс. Різним аспектам розвитку технічної системи кормозабезпечення приділяли увагу в своїх працях В. Р. Алешкін, М. А. Барсов, Б. І. Вагін, І. Ф. Василенко, В. О. Єрмічев, О. І. Завражнов, В. І. Земсков, В. А. Зяблов, М. Ф. Ігнат'євський, В. Г. Коба, Б. В. Кононов, П. О. Корміщков, Л. І. Кроппа, Г. М. Кукта, Х. Г. Курбанов, В. І. Курдюмов, Л. М. Куцин, П. І. Леонт'єв, Є. О. Маркарян, С. В. Мельников, В. Ф. Некрашевич, Ю. Ф. Новіков, В. І. Особов, Е. Н. Палецький, В. І. Передня, І. І. Ревенко, М. Є. Резнік, П. М. Роцін, С. В. Рижов, М. В. Сабліков, П. А. Савіних, В. С. Сечкін, В. І. Сироватка, В. О. Сисуєв, К. Ф. Терпіловський, І. К. Текучев, М. В. Брагінець, Ю. О. Чурсінов, Р. Б. Гевко, В. В. Шацький, А. М. Семеніхін, А. А. Зубрілін, Л. В. Фригін, В. Ф. Кузьменко та інші.

Однак, дослідження авторів, що запропонували певні підходи до створення технічних систем кормозабезпечення, зводилися в основному до структуризації та загального представлення цієї системи із своїми недоліками. Необхідно також відмітити недостатню дослідженість технічної системи заготівлі та зберігання кормової сировини як ваго-

мої складової системи кормозабезпечення.

Для виявлення подальшого розвитку технічної системи кормозаготівлі необхідно розглядати такі основні напрямки, як динамізація процесів з підвищенням ступеню речовини-поля, збільшення ідеальності речовини з переходом від макрорівня до мікрорівня, утворення саморегуляції процесу та подальше згортання розробленої технічної системи до робочого органу, через розроблення технічних засобів, потенційні технологічні властивості яких дозволяють ефективно поєднувати операції накопичування, ущільнення, дозованого внесення консервувальних агентів із закладанням у полімерні сховища. З урахуванням вищезначених обставин були сформульовані мета і задачі дослідження.

У другому розділі «Теоретичні основи визначення параметрів технічної системи кормозаготівлі на молочних фермах» представлено методологічні принципи формування та оцінки системи кормозаготівлі з урахуванням сучасних методів аналізу поживності складових раціону на продуктивність молочного скотарства.

Для вдосконалення технічної системи кормозаготівлі нами розроблені методологічні основи, алгоритм реалізації яких представлений на рис. 1.

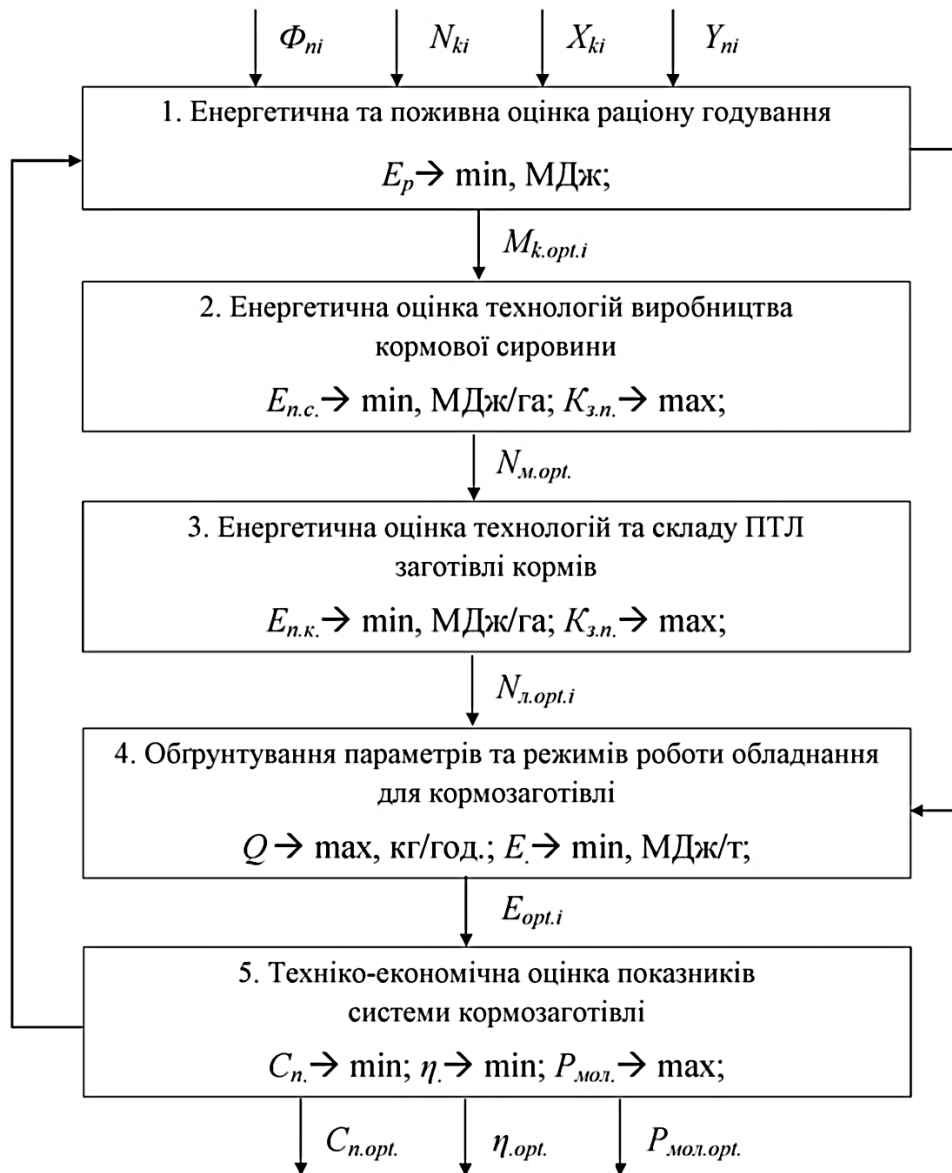


Рис. 1. Алгоритм реалізації методологічних основ вдосконалення технічної системи кормозаготівлі.

Вхідними даними для реалізації першого етапу цієї системи є: виробничі чинники Φ_{ni} ; номенклатура видів кормів N_{ki} , які виробляють в господарстві та замовляються додатково; концентрація енергії і поживних речовин X_{ki} в одиниці маси кожного виду корму та дані про хімічний склад грубих і соковитих кормів, які виробляють у господарстві (за аналізами лабораторії); добова потреба тварин в енергії, поживних і біологічно активних речовинах Y_{ni} залежно від запланованої їх продуктивності, маси і фізіологічного стану. Додатково враховуються зоотехнічні обмеження по структурі раціону, по загальній потребі в енергії і усіх нормованих елементах живлення. За критерій оптимізації на цьому етапі використовується мінімум енерговитрат на виробництво кормів E_p . На виході першого рівня отримуємо види заготовлюваних та придбаних кормів $M_{k,opt,i}$, які є початковими даними для другого рівня оптимізації.

На другому етапі здійснюється обґрунтування технології виробництва кормової сировини за критерієм мінімуму енерговитрат $E_{n,c}$ на гектар площі обробітку і витрат на виробництво рослинної сировини B_e та максимуму збереженості поживних речовин $K_{z,n}$. Отримані показники дозволяють визначити достатню кількість машин для виробництва кормової сировини $N_{m,opt}$.

На третьому етапі обґрунтовується технологія і склад поточкових технологічних ліній заготівлі, зберігання та приготування кормів за критеріями мінімуму енерговитрат $E_{n,k}$, витрат на приготування кормів $B_{n,k}$, витрат на виробництво однієї кормової одиниці $B_{k,od}$ та максимуму коефіцієнту збереженості поживних речовин $K_{z,n}$. У разі, коли одна або декілька технологій забезпечують краще збереження поживності оброблюваної кормової сировини, необхідно провести порівняння коефіцієнтів збереженості поживних речовин $K_{z,n}$. Вихідним параметром після порівняння виступає необхідна кількість поточкових технологічних ліній $N_{l,opt,i}$.

На четвертому етапі обґрунтовуються параметри і режими роботи машин для кормозаготівлі за критеріями максимуму продуктивності Q та мінімуму енерговитрат E . При цьому вихідними параметрами є питомі енерговитрати $E_{opt,i}$ обладнання із найменшими втратами поживних речовин для процесів кормозаготівлі.

На п'ятому етапі обґрунтовуються техніко-економічні показники технологічних процесів заготівлі кормів за критеріями мінімуму собівартості продукції C_n , мінімуму коефіцієнту енергетичної ефективності η та максимуму продуктивності тварин P_{mol} . Провівши аналіз складових показників і виділивши найбільш значущі, можна повернутися на той рівень оптимізації, де ця складова чинить найбільший вплив і прорахувати інший варіант оптимізації. Порівнюючи різні варіанти, знаходимо оптимальний для заданих умов.

Шляхом удосконалення моделі конверсії корму на основі чистої енергії лактації (ЧЕЛ) у продукцію молочного скотарства отримано математичну модель (1), яка дозволяє кількісно оцінити вплив наявності поживних речовин в кормі та їх збереженості в процесі заготівлі на продуктивність тварин

$$P_{mol} = 0,0024K_{z,СП} \cdot СП + 0,0127K_{z,СЖ} \cdot СЖ + 0,0023K_{z,СК} \cdot СК + \\ + 0,028K_{z,СБЕР} \cdot СБЕР + 3,774T_{лакт.} - 0,0001K_{z,СП} \cdot СП \cdot T_{лакт.} - 0,0002K_{z,СЖ} \cdot СЖ \cdot T_{лакт.} - \\ - 0,0001K_{z,СБЕР} \cdot СБЕР \cdot T_{лакт.} - 0,3261T_{лакт.}^2 - 15,5115, \quad (1)$$

де $K_{з.СП}$, $K_{з.СЖ}$, $K_{з.СК}$, $K_{з.СБЕР}$ – коефіцієнти збереженості поживних речовин, відповідно сирого протеїну, сирого жиру, сирої клітковини, сирих безазотистих екстрактивних речовин; $СП$, $СЖ$, $СК$, $СБЕР$ – загальний вміст відповідно сирого протеїну, сирого жиру, сирої клітковини, сирих безазотистих екстрактивних речовин, г; $T_{лакт.}$ – період лактації, міс.

Аналіз рівняння регресії показав, що зменшення сумарного вмісту сирого протеїну (з урахуванням коефіцієнту перетравності того чи іншого виду корму та дотримання зоотехнічних вимог до приготування кормів) до 20 – 25% знижує продуктивність тварин на 17 - 20%. Зниження сумарного вмісту сирої клітковини до 20% суттєвого впливу на цей процес не здійснює і знаходиться на рівні 95% від запланованої.

Водночас вміст перетравної клітковини суттєво впливає на перетравність інших компонентів раціону. Зміна сумарного вмісту сирого жиру в раціоні в межах 20% також суттєво не впливає на продуктивність тварин, але деякі складові (наприклад, насичені жирні кислоти) здійснюють істотний вплив на перетравність основних складових раціону. Найбільш виражений вплив на продуктивність тварин формує вміст безазотистих екстрактивних речовин. Це пов'язано з тим, що вони містять як енергетичні, так і протеїногенеруючі складові.

Отримана модель дозволяє спрогнозувати продуктивність тварин молочного напрямку за наявності даних про вміст поживних речовин у основних компонентах запланованого раціону їх годівлі.

У третьому розділі «Теоретичне обґрунтування основних параметрів обладнання для заготівлі консервованих кормів за якісними показниками» обґрунтовано аналітичну модель ущільнення рослинної сировини у прямолінійному та клиноподібному каналі пресу попереднього ущільнення; досліджено процес структурування рослинної сировини у двогвинтовому ущільнювачі; обґрунтовано форму дифузору та отримано аналітичний вираз для визначення продуктивності двогвинтового ущільнювача із впливом зусиль, що виникають в формуючому дифузори.

Загальні принципи системного аналізу та моделювання механізованих процесів заготівлі консервованих кормів дозволяють перейти до особливостей оброблюваної сировини (фізико – механічних властивостей), вивчення яких дозволяє скорегувати роботу машин (механізмів) для забезпечення виконання процесу з покращеними якісними показниками.

Сутність процесу заготівлі консервованих кормів полягає у швидкому видаленні або уникненні пустих прошарків з рослинної сировини задля запобігання процесів бактеріального розкладу поживних речовин. Розроблення математичної моделі ущільнення рослинної сировини в прямолінійному та клиноподібному каналі ущільнюючої камери пресу обумовлено необхідністю вдосконалення теоретичних передумов процесу стиснення рослинних матеріалів (рис. 2).

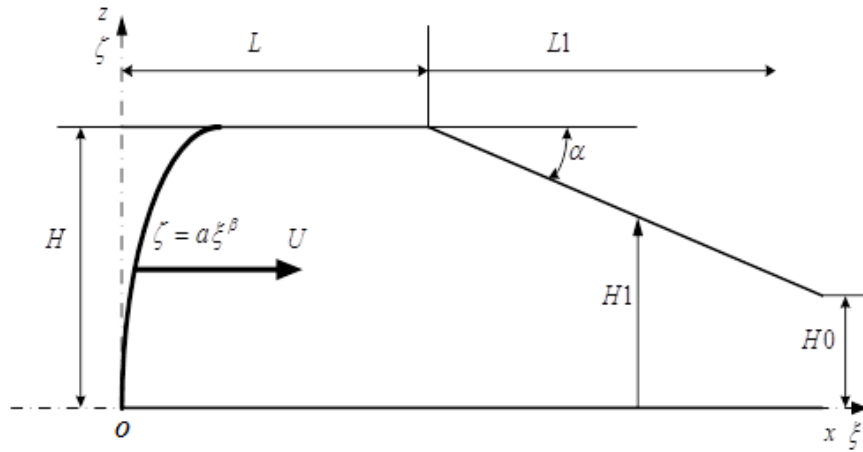


Рис. 2. Розрахункова схема процесу ущільнення рослинної сировини в пресі попереднього ущільнення: H , H_1 , H_0 – відповідно висота шару на прямолінійній ділянці, в клиноподібній ділянці та на виході з пресу попереднього ущільнення, м; L , L_1 – відповідно довжина прямолінійної та клиноподібної ділянки пресу попереднього ущільнення, м; α – кут нахилу верхньої стінки камери ущільнення, рад.; U – швидкість руху поршня, мм/с; ζ , ξ – координати поверхні преса.

Внаслідок прикладення навантаження відбувається в'язкопружна деформація матеріалу, при якому із збільшенням швидкості прикладення навантаження швидкість деформації знижується пропорційно коефіцієнту в'язкості (модель Кельвіна-Фойгта). Виведення рівнянь зв'язку напружень із швидкостями деформації пов'язано з підсумовуванням девіаторних складових напружень пружної і в'язкої деформації, яке описується узагальненим законом Гуку. У разі додання до них двох пружних складових μ та ν вони будуть виглядати наступним чином:

$$\begin{aligned}
 \sigma_x &= \frac{E(\varepsilon_x[t](-1+\nu) - (\varepsilon_y[t] + \varepsilon_z[t])\nu)}{-1+\nu+2\nu^2} + \\
 &+ \frac{2\mu((-7+11\nu)\varepsilon'_x[t] - (-2+7\nu)(\varepsilon'_y[t] + \varepsilon'_z[t]))}{-9+18\nu}; \\
 \sigma_y &= \frac{E(\varepsilon_y[t](-1+\nu) - (\varepsilon_x[t] + \varepsilon_z[t])\nu)}{-1+\nu+2\nu^2} + \\
 &+ \frac{2\mu((-7+11\nu)\varepsilon'_y[t] - (-2+7\nu)(\varepsilon'_x[t] + \varepsilon'_z[t]))}{-9+18\nu}; \\
 \sigma_z &= \frac{E(\varepsilon_z[t](-1+\nu) - (\varepsilon_x[t] + \varepsilon_y[t])\nu)}{-1+\nu+2\nu^2} + \\
 &+ \frac{2\mu((-7+11\nu)\varepsilon'_z[t] - (-2+7\nu)(\varepsilon'_x[t] + \varepsilon'_y[t]))}{-9+18\nu}; \\
 \tau_{xy} &= \frac{E\gamma_{xy}[t]}{2(1+\nu)} + \mu(\gamma'_{xy}[t]); \tau_{yz} = \frac{E\gamma_{yz}[t]}{2(1+\nu)} + \mu(\gamma'_{yz}[t]); \tau_{xz} = \frac{E\gamma_{xz}[t]}{2(1+\nu)} + \mu(\gamma'_{xz}[t]),
 \end{aligned} \tag{2}$$

де E – модуль пружності лінійних деформацій; ν – коефіцієнт Пуассона; $\varepsilon_x[t], \varepsilon_y[t], \varepsilon_z[t]$ – компоненти лінійних деформацій; $\gamma_{xy}[t], \gamma_{xz}[t], \gamma_{yz}[t]$ – компоненти зсувних деформацій; μ – коефіцієнт в'язкості зсувних деформацій.

Рішення диференціальних рівнянь (2) відносно компонент нормальних деформацій є таким:

$$\left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_x[t] = \frac{1}{3E} e^{-\frac{3Et}{2\mu+2\mu\nu}} \left(\begin{array}{l} 3e^{\frac{3Et}{2\mu+2\mu\nu}} (\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)) + \\ + e^{\frac{Et}{\mu+\mu\nu}} E(2C[1] - C[2] - C[3]) + \\ + E(C[1] + C[2] + C[3]) \end{array} \right); \\ \varepsilon_y[t] = \frac{1}{3E} e^{-\frac{3Et}{2\mu+2\mu\nu}} \left(\begin{array}{l} -3e^{\frac{3Et}{2\mu+2\mu\nu}} (-\sigma_y + \nu(\sigma_x + \sigma_z)) - \\ - e^{\frac{Et}{\mu+\mu\nu}} E(C[1] - 2C[2] + C[3]) + \\ + E(C[1] + C[2] + C[3]) \end{array} \right); \\ \varepsilon_z[t] = \frac{1}{3E} e^{-\frac{3Et}{2\mu+2\mu\nu}} \left(\begin{array}{l} -3e^{\frac{3Et}{2\mu+2\mu\nu}} (\nu(\sigma_x + \sigma_y) - \sigma_z) - \\ - e^{\frac{Et}{\mu+\mu\nu}} E(C[1] + C[2] - 2C[3]) + \\ + E(C[1] + C[2] + C[3]) \end{array} \right). \end{array} \right. \quad (3)$$

Постійні інтегрування визначаються з умови, яка при значенні часу $t=0$, $\varepsilon_x[t] = \varepsilon_y[t] = \varepsilon_z[t] = 0$, звідки:

$$C[1] = -\frac{\sigma_x - \nu\sigma_y - \nu\sigma_z}{E}; \quad C[2] = -\frac{-\nu\sigma_x + \sigma_y + \nu\sigma_z}{E}; \quad C[3] = -\frac{-\nu\sigma_x + \nu\sigma_y + \sigma_z}{E}. \quad (4)$$

З виразів (3) компоненти нормальних напружень виражають через компоненти швидкостей нормальних деформацій наступним чином:

$$\begin{aligned}\sigma_x &= -\frac{\frac{Gt}{2e^\mu} \mu((-5+7\nu)\dot{\epsilon}_x - 2(-2+\nu)(\dot{\epsilon}_y + \dot{\epsilon}_z))}{9(-1+\nu)}; \\ \sigma_y &= \frac{\frac{Gt}{2e^\mu} \mu(2(-2+\nu)\dot{\epsilon}_x + (5-7\nu)\dot{\epsilon}_y + 2(-2+\nu)\dot{\epsilon}_z)}{9(-1+\nu)}; \\ \sigma_z &= \frac{\frac{Gt}{2e^\mu} \mu(2(-2+\nu)\dot{\epsilon}_x + 2(-2+\nu)\dot{\epsilon}_y + (5-7\nu)\dot{\epsilon}_z)}{9(-1+\nu)}.\end{aligned}\quad (5)$$

Середнє нормальне (гідростатичне) напруження, яке стискає елемент сухого тертя в моделі Бінгама, буде представляти собою вираз

$$\sigma = \frac{\frac{3EEt}{2e^{2\mu+2\nu}} \mu(1+\nu)(\dot{\epsilon}_x + \dot{\epsilon}_y + \dot{\epsilon}_z)}{9-18\nu}\quad (6)$$

Аналогічно визначаються компоненти швидкостей зсувних в'язкопружних деформацій, а з них компоненти зсувних напружень:

$$\tau_{xy} = 2e^\mu \mu \dot{\gamma}_{xy}; \tau_{yz} = 2e^\mu \mu \dot{\gamma}_{yz}; \tau_{xz} = 2e^\mu \mu \dot{\gamma}_{xz}.\quad (7)$$

Час деформації, який входить до залежностей зв'язку напружень із швидкостями деформацій, може бути визначений за часом поширення хвилі напружень. Швидкість поширення хвилі напружень

$$c = \sqrt{\frac{\lambda + 2G}{\rho}},\quad (8)$$

де λ - коефіцієнт Ляме, $\lambda = k - \frac{2}{3}G$,

де $k = \frac{2}{3} \left(\frac{1+\nu}{1-2\nu} \right) G$; $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$;

ρ - щільність матеріалу.

Час розповсюдження хвилі

$$t = \frac{l}{c} = \frac{l}{\sqrt{\frac{E(-1+\nu)}{(-1+\nu+2\nu)\rho}}},\quad (9)$$

де l – відстань, на якій затухає хвиля напружень в даному середовищі.

Таким чином, рівняння (5) поряд із (7) визначають напруження стиснення, які діють на елемент сухого тертя. Методика побудови рішення першої крайової задачі теорії пружності припускає використання рівнянь зв'язку відносних деформацій з компонентами переміщень (рівнянь Коши).

Крім того, при будь-яких рухах середовища повинно виконуватися рівняння динаміки або статички середовища за відсутності значних прискорень елементів цього середовища. Рівняння статички має вигляд:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} = 0; \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} = 0; \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} = 0. \quad (10)$$

На нахиленому майданчику в середовищі повинні виконуватися умови на поверхні у вигляді:

$$\sigma_x l + \tau_{xy} m + \tau_{xz} n = \bar{X}; \sigma_y m + \tau_{yz} n + \tau_{xy} l = \bar{Y}; \sigma_z n + \tau_{xz} l + \tau_{yz} m = \bar{Z}, \quad (11)$$

де $l = \cos(N x), m = \cos(N y), n = \cos(N z)$ – напрямні косинуси зовнішньої нормалі до поверхні, яка обмежує середовище; $\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}$ – компоненти проєкцій тиску на поверхні, яка обмежує середовище.

У випадку, коли розглядаються не переміщення, а їх швидкості, в рівняннях Коши компоненти $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}$ зміняться на компоненти швидкостей деформацій $\dot{\varepsilon}_x, \dot{\varepsilon}_y, \dot{\varepsilon}_z, \dot{\gamma}_{xy}, \dot{\gamma}_{yz}, \dot{\gamma}_{zx}$, які використовуються в рівняннях (5) та (7).

У загальному випадку процедура пошуку рішення передбачає підстановку компонент з рівнянь Коши (або їх похідних у часі) в фізичні рівняння (5) та (7), і у подальшому підстановку отриманих виразів в рівняння (10).

Таким чином, для випадку геометричної лінійності рівнянь отримують еліптичні рівняння, рішення основних їхніх типів складаються з пошуку рішень із використанням бігармонійних потенційних функцій, які задовольняють умовам на поверхні (11).

Для випадку рішення плоскої контактної задачі може бути прийнято спрощення у вигляді прийняття відповідних умов:

$$u = \Phi_x - \frac{1}{4(1-\nu)} \frac{\partial}{\partial x} (x\Phi_x + y\Phi_y + z\Phi_z); v = \Phi_y - \frac{1}{4(1-\nu)} \frac{\partial}{\partial y} (x\Phi_x + y\Phi_y + z\Phi_z);$$

$$w = \Phi_z - \frac{1}{4(1-\nu)} \frac{\partial}{\partial z} (x\Phi_x + y\Phi_y + z\Phi_z), \quad (12)$$

де Φ_x, Φ_y, Φ_z – гармонічні потенційні функції спадаючі прямо пропорційно відстані від точки контакту.

Такі функції можуть бути представлені у вигляді потенціалів подвійного шару:

$$\Phi_x = \int_{\eta_{min}}^{\eta_{max}} \int_{\xi_{min}}^{\xi_{max}} k \frac{u_0((y-\eta)+(z-\zeta))}{((x-\xi)^2 + (y-\eta)^2 + (z-\zeta)^2)^{3/2}} d\zeta d\eta;$$

$$\Phi_y = \int_{\xi_{min}}^{\xi_{max}} \int_{\zeta_{min}}^{\zeta_{max}} k \frac{v_0((x-\xi)+(z-\zeta))}{((x-\xi)^2 + (y-\eta)^2 + (z-\zeta)^2)^{3/2}} d\zeta d\xi;$$

$$\Phi_z = \int_{\eta_{min}}^{\eta_{max}} \int_{\xi_{min}}^{\xi_{max}} k \frac{w_0((x-\xi)+(y-\eta))}{((x-\xi)^2 + (y-\eta)^2 + (z-\zeta)^2)^{3/2}} d\xi d\eta, \quad (13)$$

де k – коефіцієнт, що забезпечує значення функції відповідне u_0, v_0, w_0 при

$x - \xi = 0, y - \eta = 0, z - \zeta = 0.$

Представлення форми поршня у вигляді криволінійної поверхні не дозволяє в подальшому інтегрувати бігармонійні потенційні функції, тому спростимо вигляд поршня до плоскої поверхні за умови: $\beta = 1$. Тоді $\zeta = a\xi; \xi = (\frac{\zeta}{a})$;

При цьому система координат $\zeta o\xi$ співпадає з системою координат xoz (рис. 2) на початку руху преса, а далі є взагалі рухомою відносно системи xoz .

Проекції швидкості преса на осі координат будуть виглядати наступним чином: $u_x = U; w = u_z = U \sin[\arctan[\partial_\xi(a\xi)]]$.

Значення гармонічних потенціальних функцій з урахуванням проекцій швидкості поршня при його дії на матеріал повинні враховувати обмеження стінок камери стиснення.

Для плоскої постановки задачі (випадок осьової симетрії відносно вертикальної осі преса oz) та з урахуванням обмежень стінок камери бігармонійні потенціальні функції на ділянці без звуження матимуть наступний вигляд:

$$F_{x0} = \frac{k u_{x0}(H + z - \zeta)}{(H + z - \zeta)^2 + (L + x - \xi)^2}; F_{z0} = \frac{k w_{x0}(H + z - \zeta)}{(H + z - \zeta)^2 + (L + x - \xi)^2}, \quad (14)$$

та на ділянці звуження:

$$F_{xL} = \frac{k l u_{xL}(H1 + z - \zeta)}{(H1 + z - \zeta)^2 + (L + x - \xi)^2}; F_{zL} = \frac{k l w_{xL}(H1 + z - \zeta)}{(H1 + z - \zeta)^2 + (L + x - \xi)^2}, \quad (15)$$

де u_{x0}, w_{z0} проекції початкових швидкостей поршня на осі координат; H, L - висота камери та її довжина на ділянці без звуження, м; u_{xL}, w_{zL} - проекції початкових швидкостей матеріалу в зоні початку звуження на осі координат; $H1$ - висота камери на ділянці звуження, м.

Бігармонійні потенційні функції повинні забезпечувати виконання подвійного оператора Лапласа, а саме

$$\Delta^2 = \frac{\partial^4 F}{\partial x^4} + \frac{\partial^4 F}{\partial z^4} = 0, \quad (16)$$

де Δ - оператор Лапласа.

Напрявні косинуси поверхні поршня матимуть вигляд:

$$l = \cos[\frac{\pi}{2} - \arctan[\partial_\xi(a\xi)]]; n = \cos[\frac{\pi}{2} - \arctan[\partial_\zeta(\zeta/a)]]; \\ l = \frac{a}{\sqrt{1+a^2}}; n = \frac{1}{\sqrt{1+\frac{1}{a^2}a}}. \quad (17)$$

Аналіз бігармонійних потенційних функцій свідчить, що за умови розв'язання рівнянь:

$$\begin{aligned}
u_{x0} &= \frac{k u_{x0}(H+z-\zeta)}{(H+z-\zeta)^2 + (L+x-\xi)^2}, \text{ при } H=z; \\
w_{x0} &= \frac{k w_{x0}(H+z-\zeta)}{(H+z-\zeta)^2 + (L+x-\xi)^2}, \text{ при } H=z; \\
k &= 4\pi(H-z); \\
u_{xL} &= \frac{k u_{xL}(H1+z-\zeta)}{(H1+z-\zeta)^2 + (L+x-\xi)^2}, \text{ при } H1=(L-x)\tan[\alpha]=z; \\
w_{xL} &= \frac{k w_{xL}(H1+z-\zeta)}{(H1+z-\zeta)^2 + (L+x-\xi)^2}, \text{ при } H1=(L-x)\tan[\alpha]=z; \\
k1 &= 4\pi(L-x),
\end{aligned} \tag{18}$$

де α - кут нахилу верхньої стінки камери,

можна отримати функції, які входять до розв'язку у формі Папковича-Нейбера, і для ділянки без звуження мають вигляд:

$$\begin{aligned}
\Phi_x &= \int_0^H \frac{k u_{x0}(H+z+\delta-\zeta)}{(H+z+\delta-\zeta)^2 + (L+x+\delta-\xi)^2} d\zeta; \\
\Phi_z &= \int_0^{\xi_{\max}} \frac{k u_{z0}(H+z+\delta-\zeta)}{(H+z+\delta-\zeta)^2 + (L+x+\delta-\xi)^2} d\zeta.
\end{aligned} \tag{19}$$

В першому з цих рівнянь $\xi = \left(\frac{\zeta}{a}\right)$, а в другому $\zeta = a\xi$.

Після інтегрування виразів (19) отримаємо:

$$\begin{aligned}
\Phi_x &= \frac{aHkU(-H^2 + H(ax-z) + 2axz)}{(H^2 + x^2 + 2Hz + z^2)(H^2 - 2aHx + a^2(x^2 + z^2))}; \\
\Phi_z &= \frac{aHkU(-a(x-z)(x+z) + H(x+az))}{\sqrt{1+a^2}(H^2 + x^2 + 2Hz + z^2)(H^2 - 2aHx + a^2(x^2 + z^2))}.
\end{aligned} \tag{20}$$

$$u = \Phi_x - \frac{1}{4(1-\nu)} \frac{\partial}{\partial x} (x\Phi_x + z\Phi_z); \quad w = \Phi_z - \frac{1}{4(1-\nu)} \frac{\partial}{\partial z} (x\Phi_x + z\Phi_z). \tag{21}$$

Компоненти нормальних та зсувних швидкостей деформацій матеріалу визначаються з залежностей (10).

Компоненти напружень на ділянці без звуження потоку визначаються залежностями (5) та (7).

Ущільнення матеріалу в кінці прямолінійної частини камери визначимо за залежністю

$$\rho = \rho_0 + b' \ln[\sqrt{\sigma_m^2 (1 + \tau_{xz})}], \tag{22}$$

де $\sigma_m = \frac{\sigma_x + \sigma_z}{3}$ - гідростатичне напруження; ρ_0 - початкова щільність матеріалу;

b' - емпіричний коефіцієнт, що визначається для конкретного матеріалу в умовах нерівнобічного стиснення.

Для кінця прямолінійної ділянки камери стиснення, тобто при $x=L$, щільність матеріалу виражається кінцевою залежністю, графічна інтерпретація якої наведена на рис. 3.

Щільність рослинної сировини при стисненні розподіляється нерівномірно за висотою. Вона зростає в нижніх шарах, що пов'язано із ефектом самоущільнення та тертям по поверхні. Швидкість руху поршня, у досліджуваних межах, фактично не впливає на кінцеву щільність матеріалу.

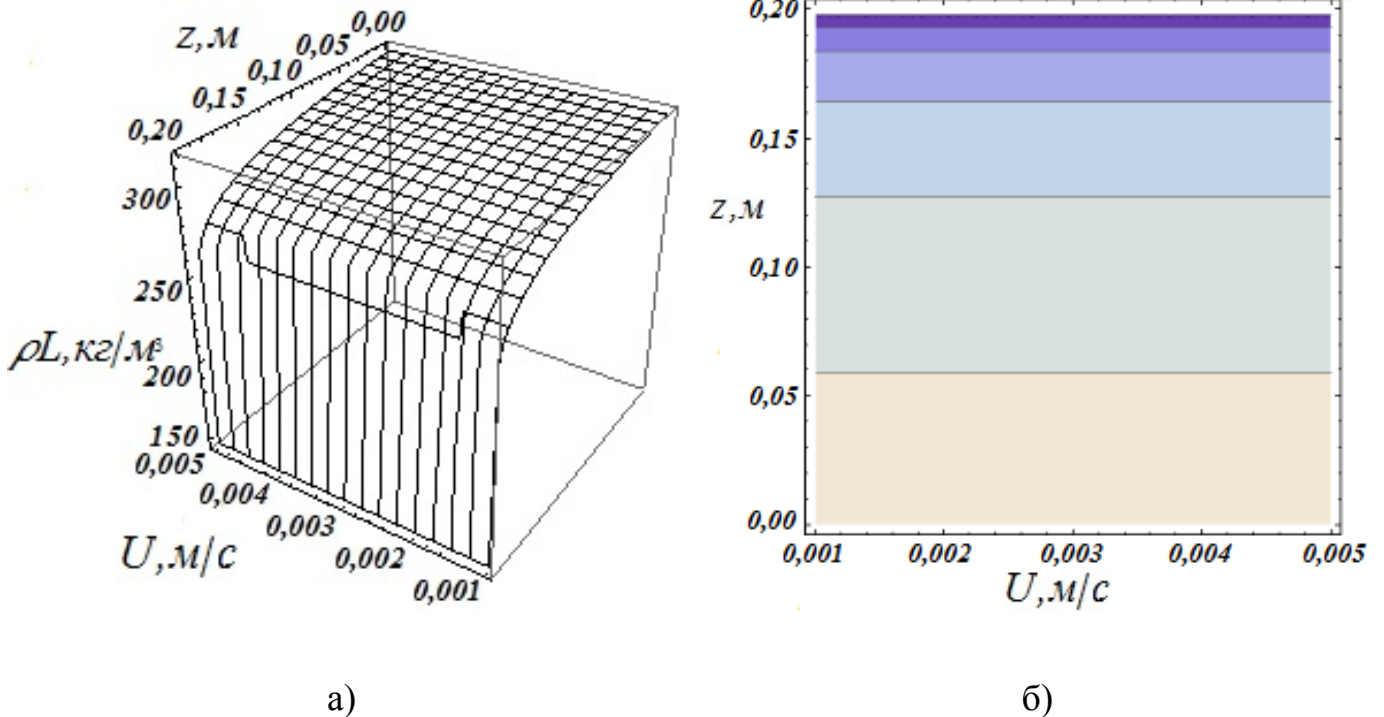


Рис. 3. Графічне представлення розподілення щільності матеріалу в кінці прямолінійної ділянки камери стиснення в залежності від швидкості руху ущільнюючого поршня U та за висотою по осі z (а), і горизонтальний перетин графіку поверхні (б).

Визначення зусиль необхідних для стиснення на прямолінійній ділянці, передбачали визначення рівнодійної зусиль опору, що діють з боку матеріалу на поршень преса:

Рівнодійна сила опору виглядає наступним чином

$$P = \sqrt{(HB(\sigma_x l + \tau_{xz} n))^2 + (HB(\sigma_z l + \tau_{xz} n))^2}, \quad (23)$$

$$\text{при } l = \frac{a}{\sqrt{1+a^2}}, n = \frac{l}{\sqrt{1+\frac{l^2}{a^2}}}, x=L$$

де B - ширина камери стиснення, м.

Графічна інтерпретація рівнодійної зусиль опору наведена на рис. 4. Аналіз

приведеної поверхні свідчить про збільшений опір у нижніх шарах камери ущільнення на висоті від 0 до 0,05м, що вказує на більший опір тертю та маси по поверхні. Найнижчі значення рівнодійної зусиль опору знаходяться на висоті 0,2-0,25м, оскільки вони пов'язані лише із подоланням незначних зусиль тертя по бічним стінкам камери. Із збільшенням висоти розташування маси, рівнодійна сили опору незначно зростає, що пов'язано із опором тертя по бічних та верхніх стінках камери ущільнення. Швидкість руху поршня у вимірювальних межах не впливає на рівнодійну зусиль опору.

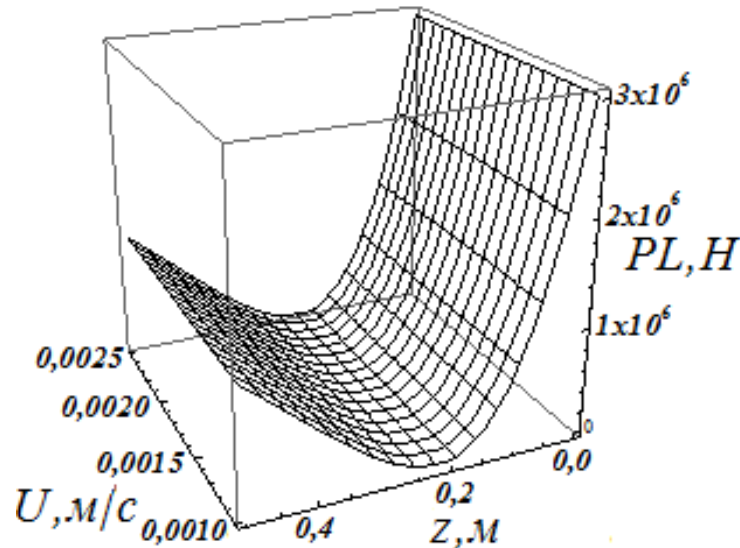


Рис. 4. Графічне представлення залежності зусиль, що діють з боку матеріалу на ущільнюючий поршень від швидкості руху ущільнюючого поршня U та за висотою по вісі z : а) проекції зусиль на вісь x ; б) проекції зусиль на вісь z .

На ділянці ущільнювальної камери із звуженням бігармонійні потенційні функції мають вигляд:

$$\Phi_{xL} = \int_0^{H1} \frac{k1u_{L0}(H1+z-\zeta)}{(H1+z-\zeta)^2 + (L+x-\xi)^2} d\zeta; \Phi_{zL} = \int_L^{Lk} \frac{k1w_{L0}(H1+z-\zeta)}{(H1+z-\zeta)^2 + (L+x-\xi)^2} d\xi, \quad (24)$$

де u_{L0}, w_{L0} - компоненти швидкостей маси в зоні контакту з поршнем на початку ділянки звуження $x = L$, що отримані вище (21).

Швидкості переміщень маси на ділянці звуження мають вигляд:

$$u_{L1} = \Phi_{xL} - \frac{1}{4(1-\nu)} \frac{\partial}{\partial x} (x\Phi_{xL} + z\Phi_{zL}); w_{L1} = \Phi_{zL} - \frac{1}{4(1-\nu)} \frac{\partial}{\partial z} (x\Phi_{xL} + z\Phi_{zL}). \quad (25)$$

Деформації на ділянці звуження розраховують за наступними виразами:

$$\varepsilon_{xL1} = \frac{\partial u_{L1}}{\partial x}; \varepsilon_{zL1} = \frac{\partial w_{L1}}{\partial z}; \gamma_{xzL1} = \frac{\partial u_{L1}}{\partial z} + \frac{\partial w_{L1}}{\partial x}. \quad (26)$$

Напруження в матеріалі на ділянці звуження мають такий вигляд:

$$\sigma_{xL1} = -\frac{\frac{Gt}{2e^{\mu}} \mu((-5+7\nu)\varepsilon_{xL1} - 2(-2+\nu)(\varepsilon_{zL1}))}{9(-1+\nu)}; \sigma_{zL1} = \frac{\frac{Gt}{2e^{\mu}} \mu(2(-2+\nu)\varepsilon_{xL1} + (5-7\nu)\varepsilon_{zL1})}{9(-1+\nu)};$$

$$\tau_{xzL1} = 2e^{\mu} \mu \gamma_{xzL1}. \quad (27)$$

Ущільнення маси на ділянці звуження каналу (рис. 5) набуде вигляду

$$\rho L1 = \rho_0 + b' \ln \left[\sqrt{\left(\frac{\sigma_{xL1} + \sigma_{zL1}}{3} \right)^2} (1 + \tau_{xzL1}) \right]. \quad (28)$$

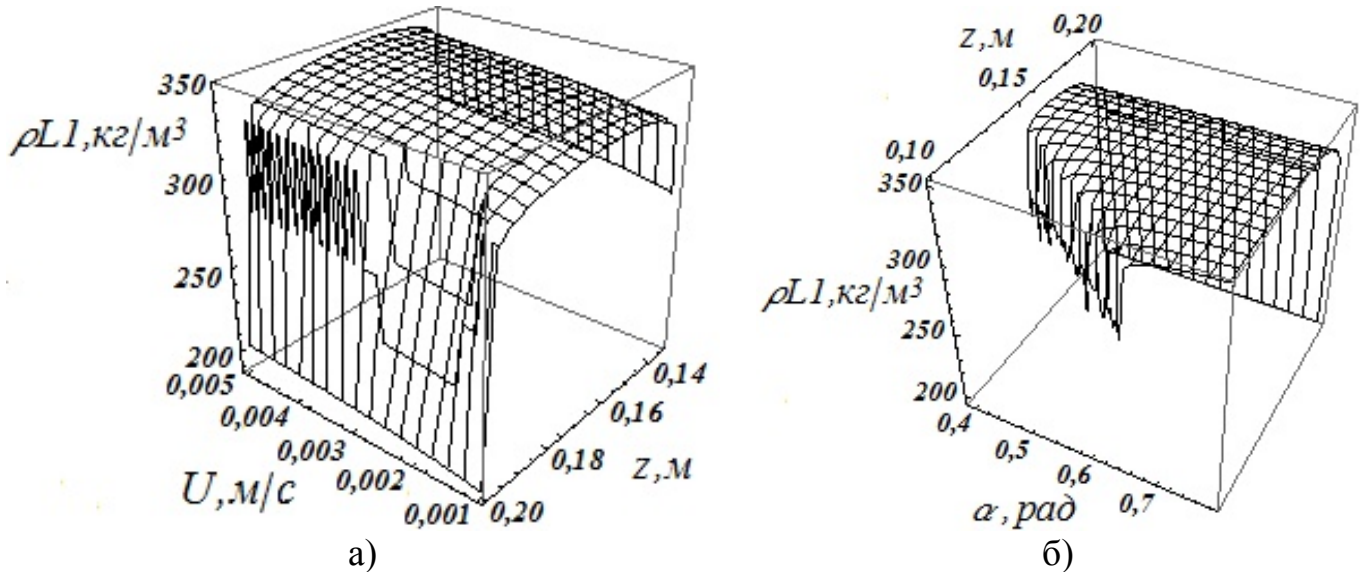


Рис. 5. Графічне зображення розподілу щільності за висотою і швидкістю руху поршня U (а) та кутом нахилу верхньої стінки ущільнювальної камери α (б).

При аналізі представлених поверхонь можна помітити збільшення щільності на нижніх шарах ущільнюваного матеріалу. А саме на рівні 0,07 м, тоді як швидкість руху поршня на досліджуваних інтервалах впливає несуттєво. Тому потрібна така конструкція пресу, яка б забезпечувала рівномірний розподіл сипкого консерванту в ущільненій масі корму. Відповідні зміни в конструкції пресу необхідні для рівномірного розподілу сипкого консерванту в ущільнювальній масі. Для цього нами розроблено гвинтовий ущільнювач, який при відокремленні попередньо ущільненого кормового матеріалу вирівнює щільність та розпушує кормовий матеріал для внесення в нього сипкого консерванту і остаточного ущільнення та пакування у полімерні вмістища.

Аналізуючи приведені графіки, слід звернути увагу на нерівномірний розподіл щільності вихідного ущільненого матеріалу за висотою його розміщення. Оскільки ця обставина впливає на подальший розподіл консерванту в масі матеріалу, необхідно вирівнювати щільність на наступних операціях, перед внесенням консерванту.

Визначення зусиль, необхідних для стиснення рослинної сировини передбачало аналіз рівнодійної сили опору на ділянці звуження

$$PL1 = \sqrt{\left(\int_0^{H1} B(\sigma_{xL1}l + \tau_{xzL1}n) dz \right)^2 + \left(\int_0^{H1} B(\tau_{xzL1}l + \sigma_{zL1}n) dz \right)^2}, \quad (29)$$

$$\text{при } Hl = x \tan[\alpha], l = \frac{a}{\sqrt{1+a^2}}, n = \frac{1}{\sqrt{1+\frac{1}{a^2}a}}$$

Аналіз представлених поверхонь (рис. 6) вказує на збільшення рівнодійної сили опору при збільшенні швидкості руху поршня та зменшенні висоти розташування ущільнювального шару. Найбільші значення рівнодійної сили опору (до $6,8 \times 10^6$ Н) спостерігаються на висоті 0,01 - 0,02 м. Дуже помітний вплив на рівнодійну сили опору здійснює підвищення кута нахилу верхньої стінки ущільнювальної камери, значення її складає $6,6 \times 10^6$ Н при куті нахилу в 0,4 рад. Це пов'язано із збільшенням внутрішнього тиску найбільше значення якого спостерігається на висоті 0,05-0,08 м.

Представлені теоретичні аспекти свідчать про необхідність вирівнювання щільності рослинної сировини на виході з пресу попереднього ущільнення, що забезпечить рівномірне розпушення та внесення сипкого консерванту.

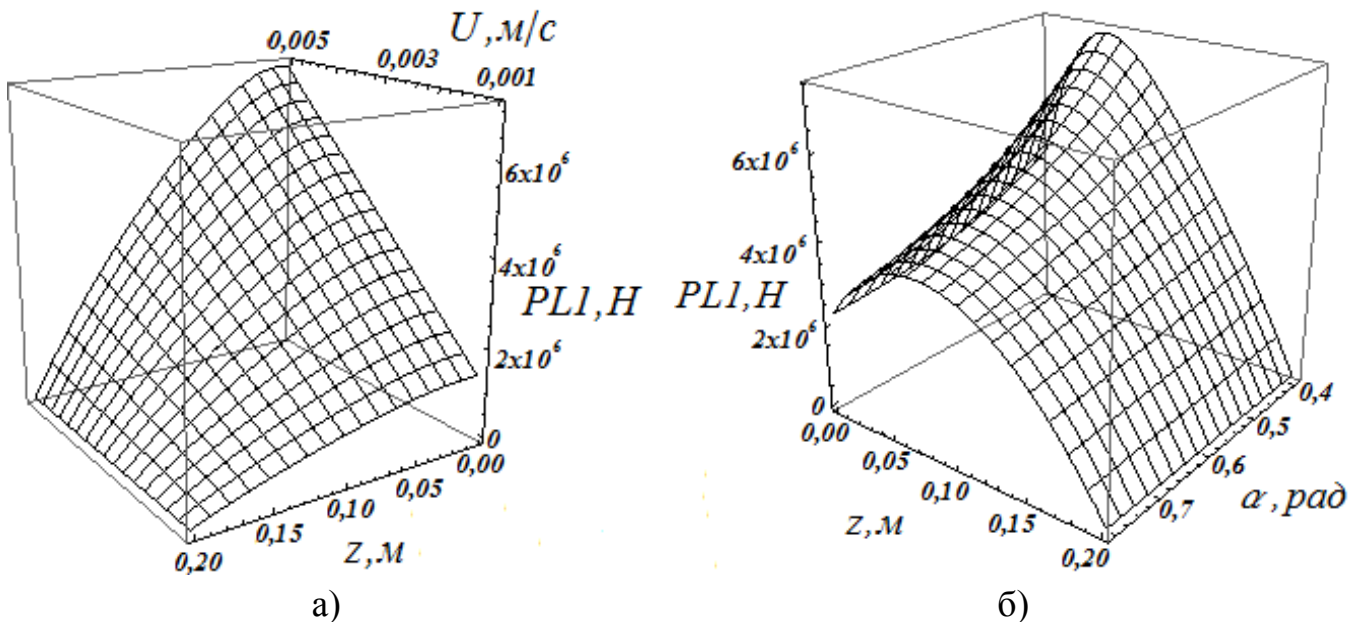


Рис. 6. Графічне представлення рівнодійної сил, що діють з боку матеріалу на ущільнюючий поршень на ділянці звуження від швидкості руху ущільнюючого поршня U (а), кута нахилу верхньої стінки ущільнювальної камери α (б) та за висотою по вісі z .

При переході від попереднього ущільнення до гвинтового відбувається відокремлення часток із вирівнюванням щільності та подальшим розпушенням. Під час переміщення від одного гвинта до іншого відбувається вирівнювання часток рослинної сировини відносно гвинтової лінії.

Поводження частки рослинної сировини, довжина якої значно перевищує її поперечний перетин, при дії на неї нахиленої крайки гвинта представлено на рис. 7. У випадку, коли частка розміщена не паралельно нахиленій крайки гвинта, до її ближнього боку буде прикладене зусилля F , яке, в свою чергу, буде викликати обертальний момент навколо центру мас. Частка буде обертатися до тих пір, доки вона не прийме положення, паралельне нахиленій крайці гвинта. Далі буде відбуватися її складний рух вздовж гвинтової лінії ущільнювача.

Розглянемо проекцію моменту кількості руху K_z на вісь обертання тіла z , яка проходить крізь центр мас тіла, оскільки тіло обмежено у пересуванні площиною під нею. Припустимо, що при дії похилої лінійки гвинта на частинку запропонованої форми в першій фазі буде відбуватися її обертання навколо центра мас із швидкістю ω . При розгляді тіла виділимо елемент об'єму M із масою dm та розглянемо його як матеріальну точку. При обертанні тіла навколо нерухомої осі елемент об'єму M буде рухатися по колу із центром обертання у центрі мас C та радіусом h_z від точки M до осі обертання (див. рис. 7). Проекція швидкості v елементу об'єму M на дотичну до кола буде дорівнювати $\omega_z h_z$, тоді як проекція кількості руху на ту саму вісь буде дорівнювати $v dm = \omega_z h_z dm$.

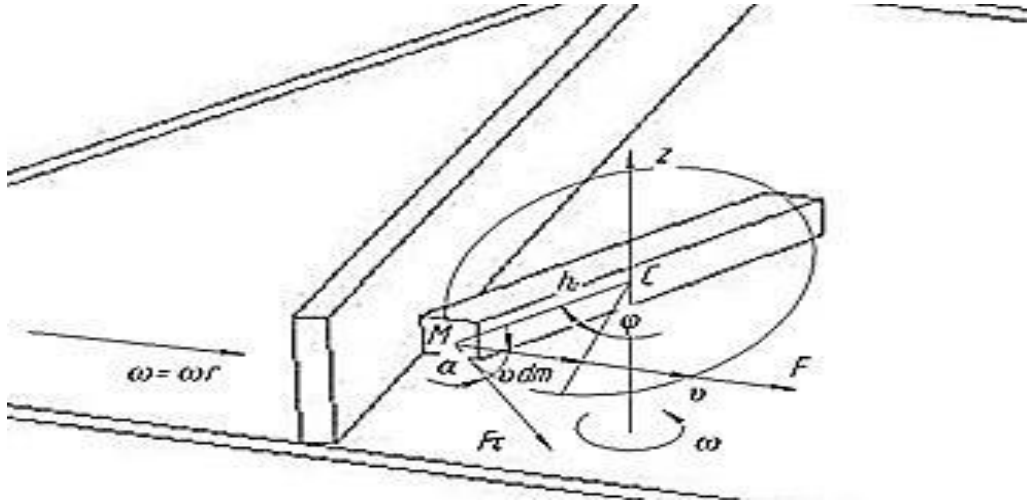


Рис. 7. Схема до теоретичного обґрунтування процесу структуризації рослинної сировини під дією гвинтових пристроїв.

Так як плече вектору $v dm$ відносно осі обертання дорівнює h_z , то момент кількості руху елементу об'єму M відносно осі z буде дорівнювати $v dm h_z = \omega_z h_z^2 dm$. Для всього тіла залежність буде мати вигляд

$$K_z = \int \omega_z h_z^2 dm. \quad (30)$$

Зазвичай це можна виразити через момент інерції тіла I_z

$$K_z = I_z \omega_z. \quad (31)$$

Визначимо роботу та потужність зусиль, які прикладені до частки та необхідні для її обертання. У випадку дії прикладеного зусилля F на частку у напрямку дотичної складової F_τ вони будуть однакові, в інших випадках дотичне зусилля буде дорівнювати $F \cos \alpha$ (рис. 7). При визначенні елементарної роботи скористуємось виразом

$$dA = F_\tau ds = F_\tau h d\varphi, \quad (32)$$

де ds – диференціал дугової координати точки прикладення зусилля,

$$ds = h d\varphi, \quad (33)$$

де $d\varphi$ – диференціал кута повороту тіла.

Враховуючи той факт, що добуток $F_\tau h$ – це те ж саме, що і момент зусиль відносно осі обертання, то вираз (32) можна записати як

$$dA = M_z d\varphi. \quad (34)$$

У підсумку робота на кінцевому куті повороту визначиться рівнянням

$$A = \int_{\varphi_0}^{\varphi} M_z d\varphi, \quad (35)$$

де φ_0 та φ – початкове та кінцеве значення кута повороту, що визначає положення тіла.

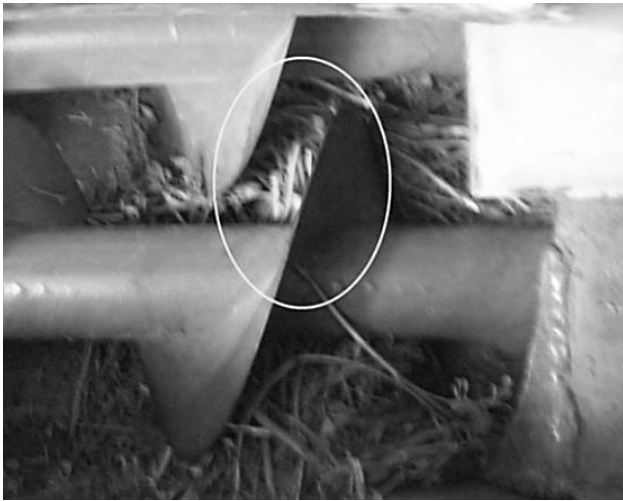
Враховуючи той факт, що момент зовнішнього зусилля буде незмінний, тобто $M_z = \text{const}$, то

$$A = M_z(\varphi - \varphi_0). \quad (36)$$

Для отримання виразу для розрахунку потужності зусилля, яке прикладене до частки та обертає її навколо свого центру мас, необхідно поділити обидві частини рівняння на dt

$$N_z = M_z \omega_z. \quad (37)$$

Вигляд процесу вирівнювання часток рослинної сировини відносно гвинтової лінії представлено на рис. 8, а. Розподіл рослинної сировини після остаточного ущільнення в дифузори наведено на рис. 8, б.



а)



б)

Рис. 8. Процес структуризації рослинної сировини в просторі гвинтового ущільнювача з однібічним обертанннм: а) структуриування у двоґвинтовому просторі; б) вигляд ущільненої сировини на виході.

Для отримання уяви про зусилля, які діють на елементарні об'єми рослинної сировини при ущільненні в робочій зоні головки та дифузора, побудовано їх схеми, що наведені в таблиці 1.

Для аналітичного визначення продуктивності двоґвинтового ущільнювача з урахуванням витоків та складної форми дифузора отримана залежність, яка виглядає наступним чином

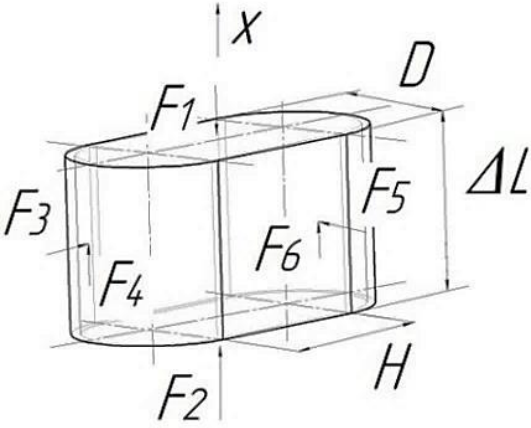
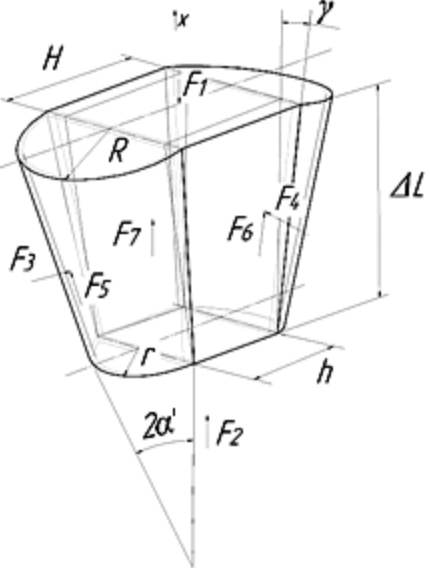
$$Q = 3600 \frac{\left(\frac{K_{зв.1} \cdot \mu \cdot n}{P_2} - K_{зв.2} \right) \cdot K_{зв.1}}{K_{зв.2} + \left(\frac{K_{зв.1} \cdot \mu \cdot n}{P_2} - K_{зв.2} \right)} \cdot n \cdot \rho, \quad (38)$$

де $K_{зв.1}$, $K_{зв.2}$ – параметри геометрії гвинтового наґнітача, м³; μ – модуль в'язкості, Па·с; n – швидкість обертаннн гвинтів; P_2 – тиск опору формуючого дифузора, Н/м²; ρ – щільність рослинної сировини, кг/м³.

$$K_{зв.1} = \frac{\pi \cdot D_k \cdot \cos \lambda \cdot B_z \cdot H_z}{2}; \quad (39)$$

Таблиця 1

Схеми зусиль, які діють на елементарні об'єми рослинної сировини, що ущільнюється в робочій зоні головки та дифузора.

Форма каналу	Зусилля	Площі
 <p>Рис. 9. Схема зусиль, що діють у голівці.</p>	$F_1 = \left(p + \frac{\Delta p}{2} \right) A_1;$ $F_2 = \left(p - \frac{\Delta p}{2} \right) A_2;$ $F_3 = A_3 p;$ $F_4 = F_{тер.1} = A_4 f p;$ $F_5 = A_5 p;$ $F_6 = F_{тер.2} = A_6 f p.$	$A_1 = A_2 = \frac{\pi D^2}{4} + HD;$ $A_3 = A_4 = \pi D \cdot \Delta L;$ $A_5 = A_6 = H \cdot \Delta L.$
 <p>Рис. 10. Схема зусиль, що діють у дифузорі.</p>	$F_1 = A_1 \left(p + \frac{\Delta p}{2} \right);$ $F_2 = A_2 \left(p - \frac{\Delta p}{2} \right);$ $F_3 = A_3 p;$ $F_4 = A_4 p;$ $F_5 = F_{тер} = A_5 f p;$ $F_6 = F_{тер} = A_6 f p;$ $F_7 = F_{тер.вн.} = \frac{\Delta V \cdot \Delta L}{A_7} f_{вн.} p.$	$A_1 = 2RH_\Delta + \pi R^2;$ $A_2 = 2rh + \pi r^2;$ $A_3 = A_5 = \frac{\pi(2R + 2r) \cdot \Delta L_\Delta}{2 \cos \alpha'};$ $A_4 = A_6 = \frac{(H_\Delta + h) \Delta L_\Delta}{2 \cos \gamma};$ $A_7 = 2 \Delta L_\Delta (2r + h + \pi r);$ $\Delta V = \left(\frac{2(RH_\Delta + \sqrt{RH_\Delta r h} - 2rh)}{3} \right) \Delta L_\Delta.$

$$K_{зв.2} = \frac{B_z \cdot H_z^3}{12 \cdot L_z}, \quad (40)$$

де D_k – діаметр внутрішньої поверхні корпусу, м; λ – кут підйому гвинтової лінії гвинта; B_z – ширина гвинтового каналу, м; H_z – висота гвинтового каналу, м; L_z – довжина гвинтового каналу, м.

Причому

$$P_2 = P_1 e^{L_\partial \left(f \left(\frac{H_\partial + h}{\cos \gamma} + \frac{2\pi(R+r)}{\cos \alpha'} \right) + f_{\text{вн.}} \left(\frac{2(RH_\partial + \sqrt{RH_\partial rh} - 2rh)}{3} + \frac{4\pi(R^2 + Rr - 2rh)}{12} \right) \right) \frac{1}{RH_\partial + \frac{\pi r^2}{2} + rh - \frac{\pi R^2}{2}}} \quad (41)$$

де P_1 – величина тиску в кінці ділянки з боку гвинтів, Н/м²; R , r – зовнішній та внутрішній радіуси циліндрів, м; H_∂ , h – відстані між центрами формуючого дифузора в прямолінійній та звуженій частинах, м; $f_{\text{тер.вн}}$ – внутрішнє тертя ущільнюваного матеріалу; L_∂ – довжина формуючого дифузора, м; b – ширина вихідного отвору формуючого дифузора, м.

Отримані аналітичні залежності дають можливість оцінити якість процесу двостадійного ущільнення рослинної сировини. Теоретичні надбання надали інформацію про можливість додання операції внесення сипкого консерванту на етапі структурування рослинної сировини. Результати теоретичних досліджень були враховані при виборі параметрів та режимів роботи лінії двоступеневого ущільнення та пакування рослинної сировини до полімерних сховищ із внесенням сипкого консерванту.

У четвертому розділі «Експериментальні дослідження технологічних процесів заготівлі консервованих кормів» викладено програму і методику проведення експериментальних досліджень.

Програма експериментальних досліджень передбачала проведення лабораторних робіт та виробничих випробувань. У процесі виконання експериментів передбачалося: визначення фізико-механічних властивостей рослинної сировини, а саме модулів пружності згину (E_n), зсуву (G) та модулю в'язкості (μ); визначення продуктивності (Q), енергоємності (E), щільності рослинної сировини на виході з пресу попереднього ущільнення та двогвинтового ущільнювача (ρ та R відповідно) для складових лінії двостадійного ущільнення рослинної сировини. Також передбачалося визначення нерівномірності внесення сипкого консерванту барабанним дозатором із комірковою поверхнею.

Для знаходження модулю згину (E_n) та зсуву (G) проводили досліди із застосуванням спеціально виготовленого стенду (рис. 11).

Модулі зсуву та згину визначали шляхом закріплення пучка люцерни у вертикальному положенні і почерговому вимірі зусиль згину та зсуву із закріпленням динамометру на відповідних висотах (l , l_1 , l_2) та фіксованих опорах, які розміщені на різному віддаленні (R_1 , R_2 , R_3) та куті повороту від місця кріплення пучка.

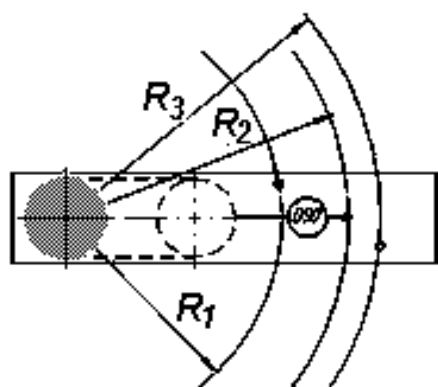
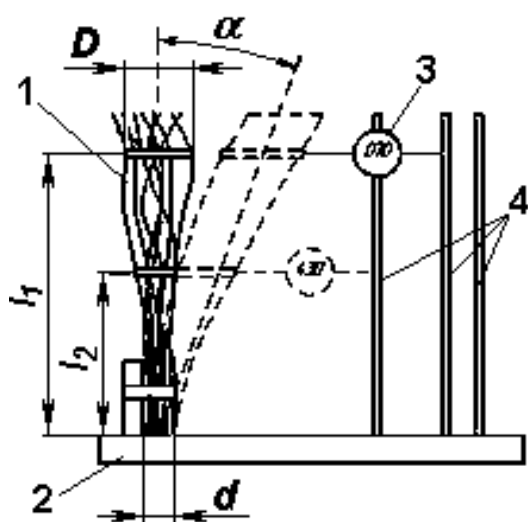
Отримані дані підставляли у залежності (42) та (43), за якими розраховували невідомі значення модулю згину

$$G = \frac{64M_{кр}}{\sqrt{3}\pi^2\varphi} \cdot \frac{l}{D_n - d_n} \cdot \left(\frac{1}{d_n^3} - \frac{1}{D_n^3} \right) \quad (42)$$

де $M_{кр}$ – крутний момент (із плечем 0,2м), Нм; $D_{п}$, $d_{п}$ – відповідно діаметр нерухомої основи і кінця пучка стебел, м; l – висота прикладення зусиль скручування, м; φ – кут повороту пучка стеблин, рад.

$$E_n = \frac{P \cdot l^3}{3y \left(\frac{\sqrt{3}}{8} \pi^2 z^2 (3z^2 + 1) r_c^4 \right)} \quad (43)$$

де P – зусилля, що прикладене до пучка стебел, Н; y – зміна координати верхньої точки при прикладенні відповідного зусилля, м; z – кількість стеблин у пучку, шт.; r – радіус однієї стеблини, м.



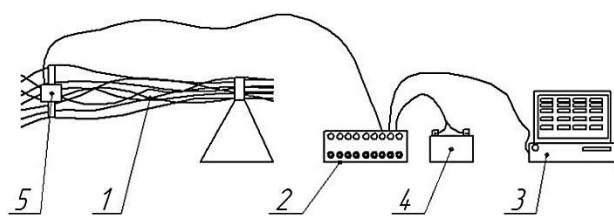
а)



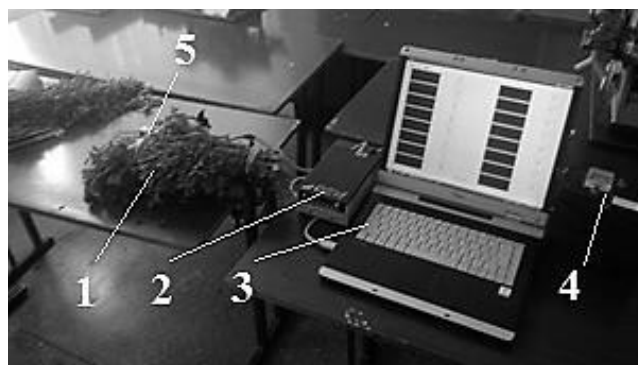
б)

Рис. 11. Схема (а) визначення модулю пружності зсуву G та загальний вигляд (б) станду: 1 - пучок досліджуваного матеріалу; 2 - рама станду; 3 - динамометр; 4 - стрижні для фіксації кута повороту та згину.

Визначення модулю в'язкості відбувалось за методикою запропонованою В.П. Ковбасою, через отримання значень періоду та амплітуди затухаючих коливань пучка люцерни на стенді зображеному на рис. 12.



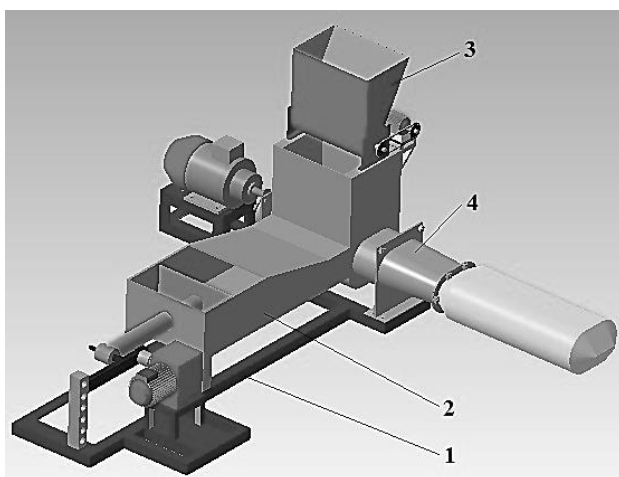
а)



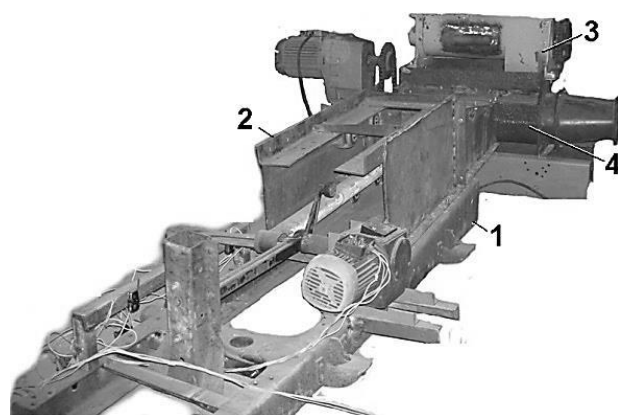
б)

Рис. 12. Схема стану для визначення затухаючих коливань (а) та натуральний вигляд стану (б): 1 – досліджуваній зразок; 2 – АЦП; 3 – персональний комп'ютер; 4 – блок живлення АЦП; 5 – датчик – осцилятор.

В якості фізичних об'єктів досліджень виступили складові елементи технологічної лінії закладення рослинної сировини на зберігання, призначені для попереднього ущільнення рослинної маси (прес із клиноподібною камерою), структурування та її основного ущільнення (двогвинтовий ущільнювач), дозованого внесення сипкого консерванту (барабанний дозатор) (рис. 13).



а)



б)

Рис. 13. Схема (а) та загальний вигляд (б) технологічної лінії двоступеневого ущільнення і закладення рослинної сировини у полімерні сховища із внесенням сипкого консерванту: 1 - рама; 2 - прес попереднього ущільнення рослинної маси; 3 - дозатор консервантів; 4 – двогвинтовий ущільнювач.

Для реєстрації частини вимірюваних параметрів, таких як споживана потужність (N), сила струму (A), напруга (U), швидкість обертання електродвигунів n використовували вимірювально-реєстраційний комплекс, основу якого склали перетворювач частоти Danfoss VLT Micro FC51 із програмним комплексом MCT-10 та персонального комп'ютера (рис. 14).



а)



б)

Рис. 14. Загальний вигляд вимірювального стенду а) програмний комплекс МСТ-10: 1 – перетворювач частоти Danfoss FC-51; 2 – персональний комп'ютер.

Отримані в процесі експериментальних досліджень реалізації у вигляді відцифрованих даних переносили в програмне середовище «Statistica». Наступною процедурою було визначення таких статистичних характеристик, як середнє значення; середнє квадратичне відхилення; дисперсія; похибка вибіркової середньої; нормована кореляційна функція.

Похибка безпосереднього вимірювання лінійних конструктивних параметрів та інших величин не перевищувала 0,5%. Похибка вимірювання часу, а також вагових параметрів була на рівні 1%.

В цілому достовірність отриманих результатів є такою, за якою число випадків, коли могли мати місце відхилення від закономірностей, установлених при експериментальних дослідженнях, не перевищувало 5%.

У п'ятому розділі «Результати лабораторних та експериментально – виробничих досліджень» визначені фізико – механічні властивості рослинної сировини. Так, середні значення модуля пружності та коефіцієнту в'язкості люцерни при середньому діаметрі 44-50 мм, довжині пучка 280-310 мм та діаметрі стебел 0,3-2,5мм склали відповідно $E_n = 8,219 \cdot 10^5$ Па, $\mu = 32,93$ Па·с.

Для встановлення залежностей між якісними та конструктивно-технологічними показниками роботи лінії двоступеневого ущільнення рослинної сировини із внесенням сипкого консерванту та пакуванням у полімерні сховища були проведені дослідження її складових елементів.

При дослідженні пресу попереднього ущільнення рослинної сировини одержано статистично значиму позитивну та помірну кореляцію щільності (рис. 15 а, б), продуктивності (рис. 16 а, б) та енергоємності (рис. 17 а, б) з кутом нахилу верхньої стінки як при подачі сінажу, так і вороху. З швидкістю подачі сінажу і вороху статистично корелюють всі досліджувані показники на рівні від помірного до досить високого, тоді як для енергоємності ця кореляція негативна.

$$\rho = 333,326 + 17,289\alpha + 9,667\alpha V - 1,366\alpha^2.$$

$$\rho = 241,701 + 7,650\alpha + 6,583\alpha V - 0,673\alpha^2.$$

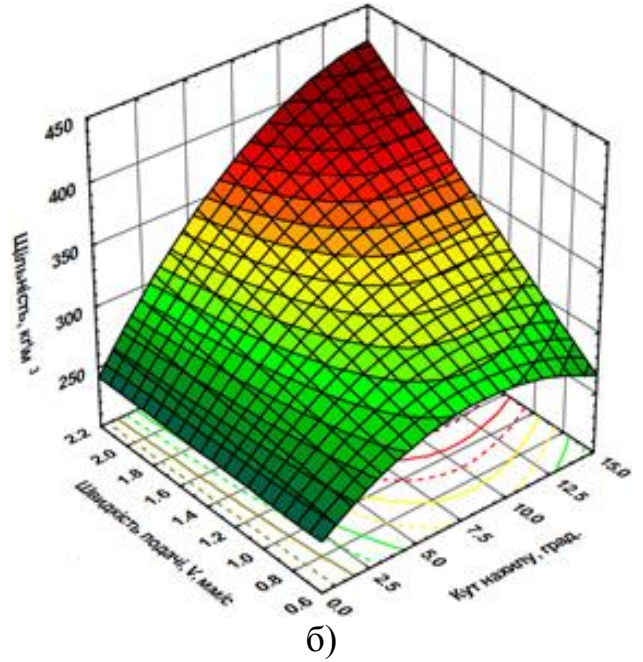
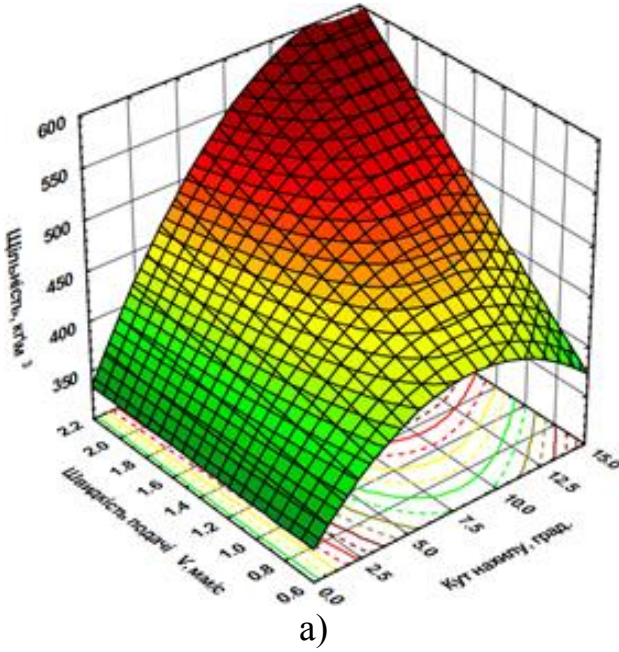


Рис. 15. Поверхня відгуку щільності маси від кута нахилу (α , град) та швидкості подачі (V , мм/с): а – для сінажу; б – для вороху.

$$Q = 4,258\alpha + 395V + 2,292\alpha V - 0,225\alpha^2 - 40,885V^2 - 63,753.$$

$$Q = 3,236\alpha + 265,313V + 1,958\alpha V - 0,216\alpha^2$$

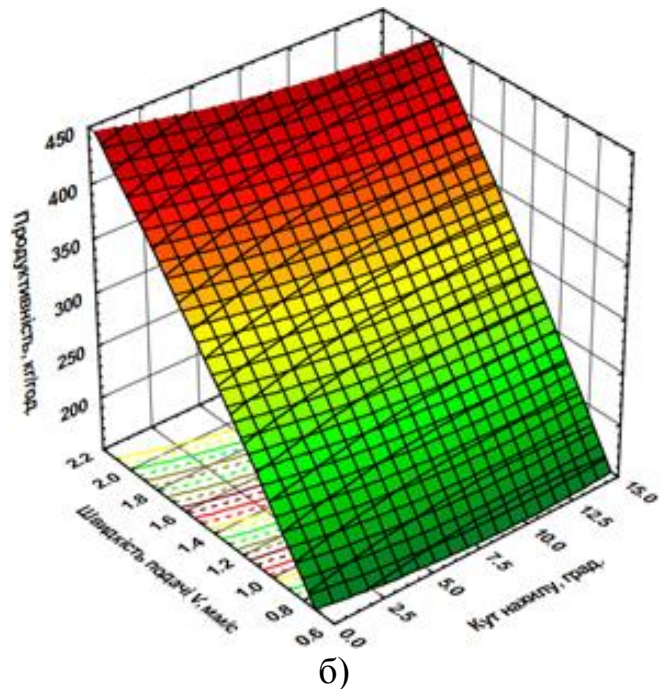
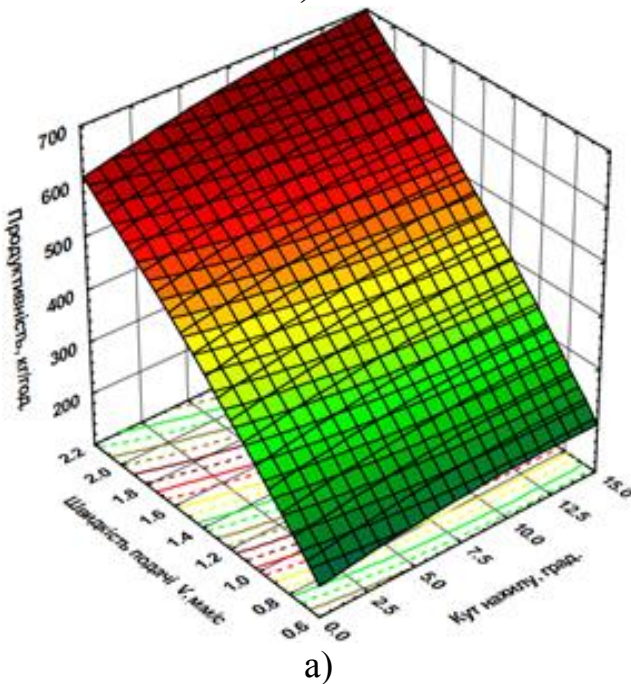


Рис. 16. Поверхня відгуку продуктивності пресу попереднього ущільнення від кута нахилу (α , град) та швидкості подачі (V , мм/с): а – для сінажу; б – для вороху.

Аналіз поверхонь відгуку залежностей щільності рослинної сировини на виході з пресу попереднього ущільнення свідчить про суттєве збільшення щільності при збільшенні швидкості руху поршня пресу попереднього ущільнення, але тільки

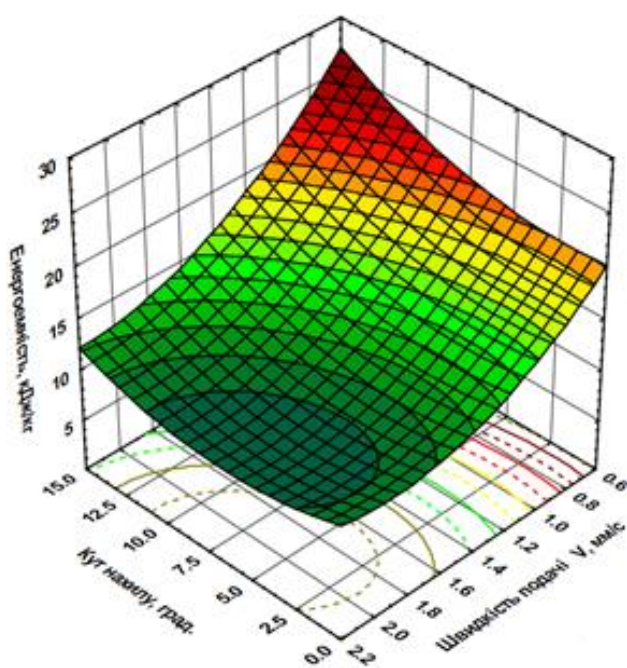
при великих значеннях кута нахилу, що в свою чергу пов'язано зі збільшенням внутрішніх напружень в рослинній сировині, тоді як збільшення кута нахилу також впливає на збільшення щільності вихідної рослинної сировини завдяки збільшенню опору руху.

Підсумовуючи вище наведене, слід зазначити більшу ущільнювальну здатність сінажу у порівнянні із ворохом, що пояснюється відмінними коефіцієнтами внутрішнього тертя та модулем в'язкості.

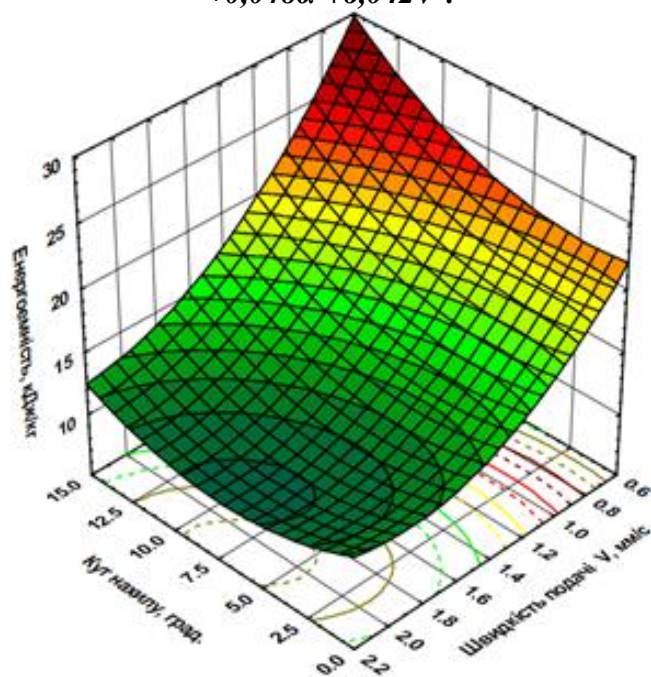
Дослідження зміни продуктивності пресу попереднього ущільнення вказали на суттєвий вплив швидкості руху ущільнюючого поршня пресу попереднього ущільнення. Тоді як кут нахилу верхньої стінки впливає не суттєво. Проте кут нахилу суттєво впливає на енергоємність процесу.

$$E=30,816+0,1552\alpha-21,230V+5,581V^2.$$

$$E=33,607+0,232\alpha-22,935V-0,321\alpha V+0,048\alpha^2+6,042V^2.$$



а)



б)

Рис. 17. Поверхня відгуку енергоємності приводу пресу попереднього ущільнення від кута нахилу та швидкості подачі: а – для сінажу; б – для вороху.

Оцінка поверхні відгуку енергоємності приводу пресу попереднього ущільнення від кута нахилу та швидкості подачі дозволила визначити оптимальний кут нахилу у $7,5^{\circ}$ при швидкості руху поршня пресу попереднього ущільнення у $2,2$ мм/с. Встановлено, що найменша енергоємність процесу попереднього ущільнення знаходилась на рівні $9,5$ кДж/кг для сінажу та близько $12,3$ кДж/кг для вороху. При параметрах приведеної вище енергоємності процесу, спостерігається прийнятна продуктивність на рівні 650 кг/год. для сінажу та 430 кг/год. для вороху. При цьому вихідна щільність знаходиться на рівні 550 кг/м³ для сінажу та 380 кг/м³ для вороху. Проведення фізичного експерименту наведено на рис. 18

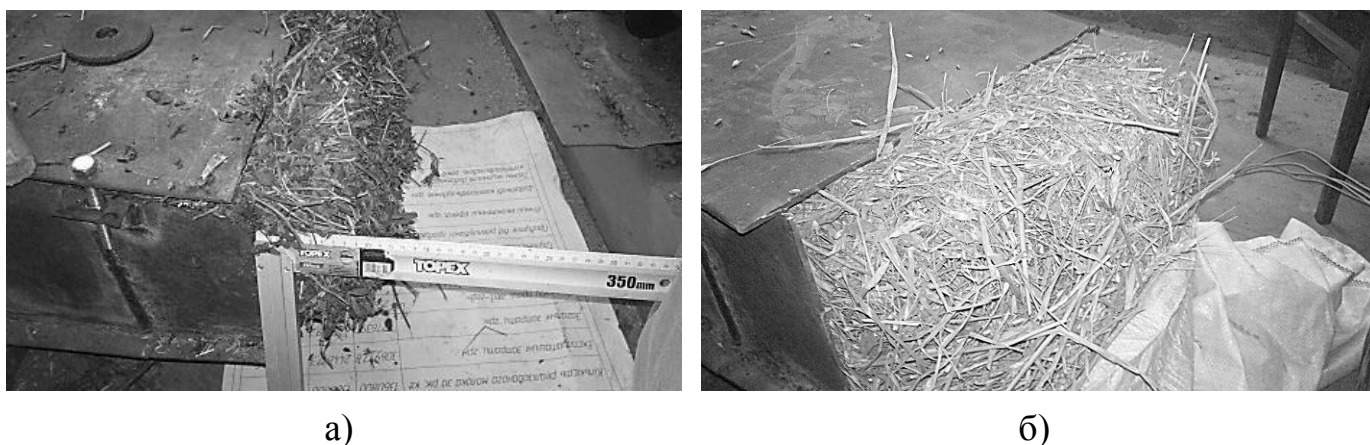


Рис. 18. Експериментальні дослідження попереднього ущільнення: а) сінажу; б) вороху.

Аналіз поверхні відгуку енергоємності дозатору від частоти обертання дозуючого барабану (n , об./хв.), діаметру комірки решета (d , мм) та розміру часток консерванту (l , мм) свідчить про збільшення енергоємності із збільшенням швидкості обертання та зменшенням діаметру отворів дозуючої поверхні барабанного дозатору (рис. 19).

Однак розмір матеріалу, що дозується, мав оптимальний розмір у 0,25 мм. При ньому відбувалося спостереження найменшої енергоємності, тоді як зменшення розміру часток призводило до самовільного витікання консерванту, а збільшення його розміру - до підвищення нерівномірності дозування. Експериментальне проведення дослідження показано на рис. 20

$$E=49,388+0,059n-5,586d-357,984D+2,249nD+8,083dD+0,0005n^2+0,568d^2+593,194D^2.$$

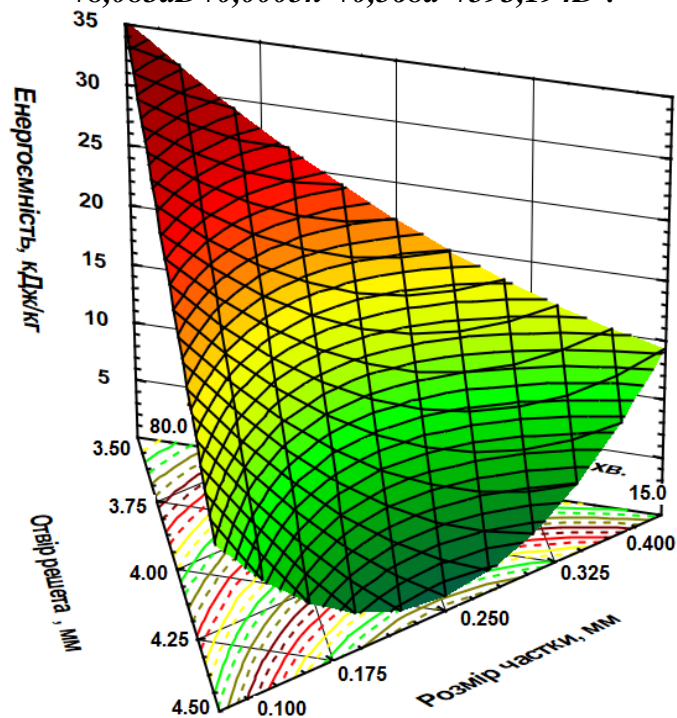


Рис. 19. Поверхня відгуку енергоємності приводу дозатора (E , кДж/кг).

Мінімальне значення енергоємності дозування становить 3,52 кДж/кг для частоти обертання дозуючого барабану 51,27 об/хв., діаметру комірки решета 6,84 мм та розміру часток консерванту 0,16 мм. При цьому найменший коефіцієнт варіації (рис. 21) у 3,5% має місце при обертах дозуючого барабану на рівні 80,3 об/хв. та із діаметром решета рівним 3,5 мм.

Аналіз поверхонь відгуку енергоємності ущільнення рослинної сировини від частоти обертання двогвинтового ущільнювача, коефіцієнта висоти вікна та вхідної щільності (рис. 22), виявив той факт, що застосовуючи параметри процесу ущільнення для отримання максимальної продуктивності, ми зможемо отримати бажану щільність на виході, а саме при ущільненні до 800-900 кг/м³ із швидкістю

обертання гвинтів на рівні 40-45 об./хв., коефіцієнтом вікна на рівні 1,8 та щільності на вході близько 350-370 кг/м³. Проведення експериментального дослідження процесу ущільнення у двогвинтовому ущільнювачі представлено на рис. 23.

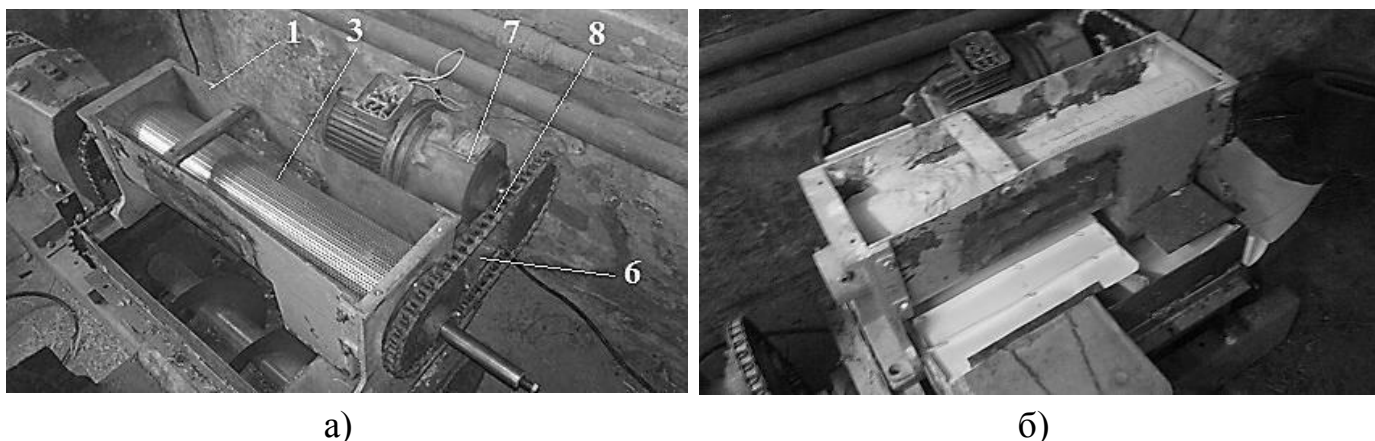


Рис. 20. Схема експериментальної установки дозатору а) та експериментальне випробування дозатору б): 1 - корпус; 2 - бункер; 3 - барабан; 4 - коміркова поверхня; 5 - вивантажувальна щілина; 6 – рама; 7 - електроприводний мотор-редуктор; 8 - ланцюгова передача.

$$CV=18,711-0,016n-6,120d-6,870D-0,001nd-2,450dD-0,0001n^2+0,732d^2+59,250D^2.$$

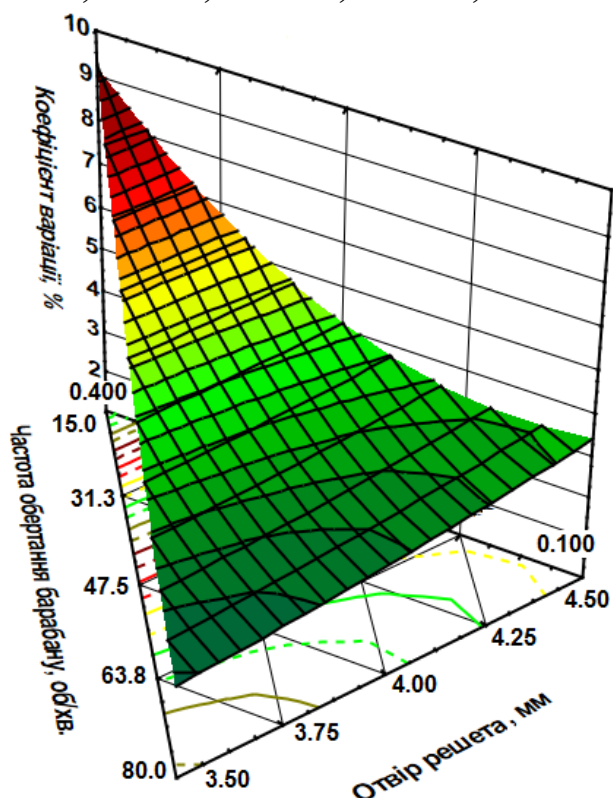


Рис. 21. Поверхня відгуку коефіцієнт варіації приводу дозатора (CV, %).

$$E=0,13+1,948n-23,164k+0,467p+0,397nk+0,00035np-0,209kp-0,019n^2+11,607k^2-0,00015p^2.$$

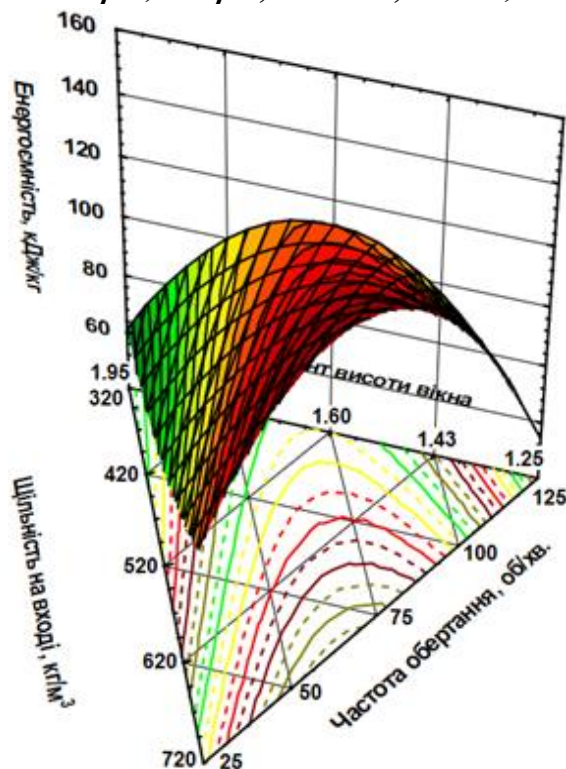


Рис. 22. Поверхня відгуку енергоємності ущільнення рослинної сировини двогвинтовим ущільнювачем (E, кДж/кг).

На основі проведених досліджень вважаємо задоцільно застосовувати наступні параметри ущільнювача рослинної сировини: при ущільненні сінажу та вороху коефіцієнт висоти вікна на рівні $k = 1,6$ та $1,8$ відповідно, щільність на вході в ущільнювач $\rho = 620$ та 420 кг/м^3 відповідно та частоту обертання гвинтів на рівні $n = 100 \text{ об/хв}$.

На підставі отриманих експериментальним шляхом даних розраховано коефіцієнт енергетичної ефективності η , який для лінії двоступенового ущільнення та пакування рослинної сировини у полімерні сховища із внесенням консерванту знаходився на рівні $\eta = 0,081 - 0,092 \text{ кДж/м}^3$. Оцінка вмісту основних поживних речовин рослинної сировини після зберігання дозволила отримати сумарні коефіцієнти втрат поживних речовин на етапі закладення, ущільнення та її зберігання, а саме $K_{з.сК}=0,851$; $K_{з.сП}=0,906$; $K_{з.сБЕР}=1,194$; $K_{з.сЖ}=0,849$.



Рис. 23. Експериментальне дослідження двогвинтового ущільнювача рослинної сировини.

У шостому розділі «Економічна ефективність використання технічної системи кормозаготівлі на молочних фермах» обґрунтовано собівартість 1 т готової сінажної маси, вартість кормової одиниці, вартість оптимального добового раціону корів, собівартість 1 ц молока, а також економію витрат та збільшення поживності раціону при використанні різних варіантів технологій заготівлі із застосуваннями при підбиранні підв'яленої рослинної сировини наступних технічних засобів:

1) комбайну із завантаженням транспортного засобу з наступним транспортуванням до стаціонарних траншейних сховищ та трамбуванням рослинної сировини важкими тракторами;

2) комбайну із завантаженням транспортного засобу з наступним транспортуванням до місць зберігання у полімерних сховищах із застосуванням обладнання фірми «AG-Bag» для їх завантаження та ущільнення;

3) комбайну із завантаженням причепів – ущільнювачів та отриманням герметичних, ущільнених пакунків із структурованою рослинною сировиною;

4) комбайну із завантаженням транспортного засобу з наступним транспортуванням до стаціонарної лінії ущільнення рослинної сировини та пакування в полімерні сховища із одночасним внесенням консерванту;

5) прес-підбирачів з наступним обмотуванням полімерною плівкою обмотувальниками;

6) причепа – підбирача із наступним транспортуванням до стаціонарних траншейних сховищ та трамбуванням рослинної сировини важкими тракторами;

7) причепа – підбирача із наступним транспортуванням до місць зберігання у полімерних сховищах із застосуванням обладнання фірми «AG-Bag» для їх завантаження та ущільнення;

8) причепа – підбирача із наступним транспортуванням до стаціонарної лінії ущільнення рослинної сировини та пакування в полімерні сховища із одночасним внесенням консерванту;

9) причепа – ущільнювача – підбирача з отриманням герметичних, ущільнених пакунків із структурованою рослинною сировиною.

Раціонально підібрана технологія заготівлі сінажу відповідно до умов окремого господарства (відстань від поля до місця закладання на консервацію корму, якість доріг тощо) забезпечує мінімальну собівартість виробництва грубих кормів. Порівнювалися різні варіанти технологій між собою для 5 різних умов:

- відстань між та місцем закладання або зберігання сінажу до 2 км;
- відстань між полем та місцем закладання або зберігання сінажу 2-5 км;
- відстань між полем та місцем закладання або зберігання сінажу 5-10 км;
- відстань між полем та місцем закладання або зберігання сінажу 10-15 км;
- відстань між полем та місцем закладання або зберігання сінажу 15-20 км

Аналіз розглянутих технологій дозволяє зробити висновок, що найбільш ефективним є застосування при підбиранні підв'яленої рослинної сировини причепа – ущільнювача – підбирача, яке забезпечує найнижчу собівартість 1 т сінажної маси, яка залежно від відстані до місця закладання сінажу коливатиметься від 377,14 до 441,70 грн. Також дана технологія гарантує найменшу вартість 1 кг кормових одиниць - від 0,86 до 1,0 грн.

Ефективність використання причепа – ущільнювача – підбирача при заготівлі сінажу визначається найнижчою середньозваженою вартістю 1 к. од. добового раціону годівлі корів - 1,92 грн. Отже, при середніх витратах 0,77 корм. од. на 1 кг молока вартість кормів в 1 кг молока становитиме 1,47 грн., тоді собівартість 1 кг молока, з розрахунку, що доля кормів складає 60%, складе 2,46 грн. Зниження собівартості при використанні даної технології у порівнянні з іншими варіантами становитиме від 11,0 до 20,9%.

Економія витрат при використанні даної найефективнішої технології у порівнянні з іншими варіантами в розрахунку на 1 кг молока коливатиметься в межах від 30 до 65 коп.; в розрахунку на річний удій від 1 корови економія складатиме 1,7-3,7

тис. грн.; в розрахунку на валовий надій 200 корів економія витрат може скласти від 346,1 до 741,0 тис. грн.

Збільшення поживності раціону (вмісту кормових одиниць у добовому раціоні) при використанні запропонованої технології у порівнянні з іншими варіантами складатиме від 1,89 до 2,51 к. од., або 13,3-18,5% (Розрахунки проводились за цінами 2015р).

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена наукова проблема покращення параметрів та функціонально-якісного забезпечення структурних елементів технічної системи кормозаготівлі молочного скотарства через розроблення та впровадження механіко-технологічних основ якісного виконання технологічних процесів заготівлі кормів. На основі проведених досліджень зроблені такі основні висновки.

1. На підставі аналізу літературних джерел встановлено, що одним із найбільш перспективних шляхів подальшого розвитку механізації кормозаготівлі у молочному тваринництві України є впровадження таких технічних засобів, потенційні технологічні властивості яких дозволяють ефективно поєднувати операції накопичування, попереднього ущільнення рослинної сировини, дозованого внесення консервувальних агентів та остаточного її ущільнення із закладанням у полімерні сховища.

2. Шляхом математичного моделювання встановлено, що у випадку зменшення у кормах, через їх незадовільне збереження, вмісту сирого протеїну, а також беззотистих екстрактивних речовин і насичених жирних кислот продуктивність тварин молочного напрямку може зменшуватися на 20...25%.

Задля запобігання цього негативного явища доцільно використовувати розроблені методологічні основи дослідження процесу функціонування технічної системи заготівлі кормів, які дають можливість вибрати найбільш придатний її варіант як за техніко-енергетичною ефективністю, так і за прогнозованим максимумом продуктивності молочної худоби.

3. Теоретичними дослідженнями розв'язків диференціальних рівнянь напружень, а також величин та швидкостей деформації ущільнювальних матеріалів з урахуванням уточнених значень їх фізико-механічних властивостей – модулів зсуву, згину і в'язкості – встановлено, що найсуттєвіший вплив на витрати енергії у процесі стиснення рослинної сировини здійснюють кут нахилу верхньої стінки камери ущільнювального пресу та швидкість руху його поршня. Для забезпечення найменшої енергоємності цього процесу значення вказаних параметрів повинні становити 0,75...0,80 рад і 1,0...1,2 мм/с відповідно.

4. Застосування одноступеневого процесу деформування рослинної сировини обумовлює нерівномірний розподіл її щільності по висоті камери пресу. Так, коли за швидкості руху його поршня 1 мм/с і куті нахилу верхньої стінки ущільнювальної камери 0,785 рад на висоті розташування шару кормів 0...20 мм рівнодійна зусиль опору деформованої маси становить 200 кН, а щільність – біля 320 кг/м³, то на висоті камери 200 мм значення цих показників зменшуються до 50 кН та 210 кг/м³ відповідно.

Застосування другої ступені ущільнення рослинної сировини – розробленого двогвинтового ущільнювача – дозволяє усунути цей недолік шляхом вирівнювання щільності вихідної маси кормів по всій висоті камери пресу на рівні 350...400 кг/м³.

5. У результаті проведення експериментальних досліджень потокової лінії двоступеневого ущільнення та пакування рослинної сировини у полімерні сховища із внесенням сипкого консерванту встановлено, що для забезпечення зменшення енергоємності цього процесу до 9,5...12,3 кДж/кг кут нахилу верхньої стінки ущільнювальної камери має становити 0,13 рад, а швидкість руху поршня пресу не повинна перевищувати 2,2 мм/с. Практична експлуатація ущільнювального пресу із такими параметрами забезпечать продуктивність кормозаготівельної лінії на рівні 430...600 кг/год.

6. Аналіз отриманих експериментальним шляхом рівнянь регресії свідчить, що потужність приводу і продуктивність роботи дозатора сипкого консерванту суттєво залежить від розміру часток останнього, а також від частоти обертання дозувального барабану і діаметру комірок його решета. Так, оптимальний розмір частинок дозованого консерванту має знаходитися в діапазоні 0,16...0,25 мм. Зменшення цього параметра до 0,01 мм призводить до самовільного витікання консерванту із дозатора, а збільшення до 0,5...0,6 мм обумовлює небажане зростання нерівномірності дозування до рівня 9%.

Для забезпечення мінімальної енергоємності процесу частота обертання дозувального барабану повинна знаходитися у діапазоні 49,5...51,3 об/хв, а діаметр комірок решета дозатора – 3,3...3,8 мм.

7. При математичному моделюванні процесу ущільнення грубих стеблових кормів запропоновано математичний апарат визначення основних параметрів, що описують процес відокремлення рослинної сировини ротаційними робочими органами, в тому числі і гвинтовими.

На основі представлених математичних залежностей доцільно застосовувати наступні параметри двогвинтового ущільнювача рослинної сировини: при ущільненні сінажу та вороху відношення висоти вікна до діаметру гвинта на рівні $k = 1,6$ та $1,8$ відповідно, щільність на вході в ущільнювач $\rho = 620$ та 420 кг/м³ відповідно та частоту обертання гвинтів на рівні $n = 100$ об/хв.

8. На підставі отриманих експериментальним шляхом даних розраховано коефіцієнт енергетичної ефективності η , який для потокової технологічної лінії двоступеневого ущільнення та пакування рослинної сировини у полімерні сховища із внесенням консерванту знаходиться на рівні $\eta = 0,081 - 0,092$ кДж/м³. Поряд із цим, оцінка вмісту основних поживних речовин рослинної сировини після зберігання дозволила отримати сумарні коефіцієнти збереженості поживних речовин на етапі закладення, ущільнення та її зберігання, а саме $K_{з.сК}=0,851$; $K_{з.сП}=0,906$; $K_{з.сБЕР}=1,194$; $K_{з.сЖ}=0,849$.

9. Охарактеризувати параметри процесу двостадійного ущільнення при запланованій продуктивності дозволяє запропонований метод оцінки якості рослинної сировини з використанням приладу для визначення щільності консервованих кормів.

Експериментальні дані, одержані в процесі дослідження свідчать, що при швидкості обертання гвинтів на рівні 40-45 об./хв., відношенні висоти вікна до діаметру гвинта на рівні 1,8 та щільності на вході близько 350-370 кг/м³ вихідна щільність ро-

слинної сировини сягне 800-900 кг/м³.

10. Аналіз розглянутих технологій заготівлі сінажу дозволяє зробити висновок, що найбільш ефективним є застосування при підбиранні підв'яленої рослинної сировини комбінованої машини із властивостями ущільнення та підбирання, що забезпечує найнижчу собівартість 1 т сінажної маси, яка, залежно від відстані до місця закладання сінажу, коливатиметься від 377,14 до 441,70 грн./т. Дана технологія гарантує найменшу вартість 1 кормової одиниці - від 0,86 до 1,0 грн. Використання цієї машини при заготівлі сінажу забезпечує найнижчу середньозважену вартість 1 к. од. добового раціону годівлі корів - 1,92 грн. При середніх витратах 0,77 корм. од. на 1 кг молока вартість кормів в 1 кг молока становитиме 1,47 грн., тоді собівартість 1 кг молока складе 2,46 грн. Зниження собівартості молока при використанні даної технології у порівнянні з іншими варіантами становитиме від 11,0 до 20,9%.

11. Економія витрат при використанні розробленого технологічного регламенту та запропонованої технології з найкращими показниками у порівнянні з іншими варіантами в розрахунку на 1 кг молока коливатиметься в межах від 30 до 65 коп. У розрахунку на річний удій від 1 корови економія складатиме 1,7-3,7 тис. грн. У розрахунку на валовий надій 200 корів економія витрат може скласти від 346,1 до 741,0 тис. грн. Збільшення поживності раціону (вмісту кормових одиниць у добовому раціоні) при використанні запропонованої технології у порівнянні з іншими варіантами складатиме від 1,89 до 2,51 к. од., або 13,3-18,5%.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України

1. Безпалов Р.І. Обґрунтування технологічної схеми обладнання для заготівлі рослинної сировини в безстінні сховища /Р.І. Безпалов, Д.О. Мілько, О.О. Троїцька, Б.В. Болтянський // Праці Таврійської державної агротехнічної академії / ТДАТА. – Вип. 7. Т. 2. – Мелітополь, 2007. – С. 66-74. (здобувачем запропоновано схему обладнання для заготівлі рослинної сировини).

2. Мілько Д.О. Обґрунтування конструктивно–технологічної схеми самозавантажувального кормороздавача консервованих кормів / Д.О. Мілько, Р.І. Безпалов, Б.В. Болтянський // Праці Таврійської державної агротехнічної академії / ТДАТА. – Вип. 7. Т. 2. – Мелітополь, 2007. – С. 190 - 194.(здобувачу належить ідея створення самозавантажувального кормороздавача).

3. Мілько Д.О. Обґрунтування основних параметрів процесу ущільнення рослинної сировини двошнековим живильником / Д.О. Мілько // Вісник Харківського національного технічного університету імені П. Василенка / ХНТУСГ. Вип. 58. – Харків, 2007. – С. 112 – 116.

4. Безпалов Р.І. Залежність продуктивності двошнекового живильника від швидкості обертання шнеків та щільності сировини / Р.І. Безпалов, Д.О. Мілько, С.М. Коломієць // Праці Таврійської державної агротехнічної академії / ТДАТА. – Вип. 7. Т. 4. – Мелітополь, 2007. – С. 177-180 (здобувачем зроблено аналіз результатів теоретичних досліджень існуючих живильників).

5. Мілько Д.О. Обґрунтування параметрів маятникового вивантажувача консервованих кормів з пило-гвинтовим відокремлювачем / Д.О. Мілько, Р.О. Бакарджієв / Праці Таврійського державного агротехнологічного університету / ТДАТУ. –

Вип. 8. Т. 3. – Мелітополь, 2008. – С. 9-15 (здобувачем запропоновано схему маятничкового вивантажувача).

6. Мілько Д.О. Переваги застосування позиційних електрифікованих вивантажувачів консервованих кормів на фоні екологічного забруднення навколишнього середовища / Д.О. Мілько // Збірник наукових праць Інституту механізації тваринництва Української академії аграрних наук / ІМТ УААН. – Вип. 2. – Запоріжжя, 2008. – С. 35-38.

7. Мілько Д.О. Мобільні маятничкові вивантажувачі траншейних кормосховищ зі зміною точки обертання / Д.О. Мілько, Р.О. Бакарджиєв, Б.В. Болтянський // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету / ТДАТУ. – Вип. 8. Т. 8. – Мелітополь, 2008. – С. 126 – 131 (здобувачем запропоновано методику розрахунку мобільних маятничкових вивантажувачів).

8. Мілько Д.О. Шляхи підвищення функціональних можливостей кормороздавачів КТУ – 10, КТУ – 10А, КТУ – 10 – 03А. / Д.О. Мілько // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету / ТДАТУ. – Вип. 9. Т. 1. – Мелітополь, 2009. – С. 90 - 96.

9. Мілько Д.О. Сучасні тенденції зберігання кормів / Д.О. Мілько, Р.О. Бакарджиєв // Збірник наукових праць Інституту механізації тваринництва Української академії аграрних наук / ІМТ УААН. – Вип. (1) 5, 6. – Запоріжжя, 2010. – С. 191 – 195 (здобувачем проведено оцінку ефективності зберігання кормів сучасними методами).

10. Мілько Д.О. Рекомендації щодо створення повнораціонних кормів для молодняку великої рогатої худоби / Д.О. Мілько, Р.О. Бакарджиєв // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету / ТДАТУ. – Вип. 15. Т. 3. – Мелітополь, 2015. – С. 195 – 204 (здобувачем розроблено рекомендації щодо створення повнораціонних кормів для молодняку великої рогатої худоби).

11. Мілько Д.О. Ідентифікація можливих проблем при зберіганні силосу / Д.О. Мілько // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету / ТДАТУ. – Вип. 10. Т. 5. – Мелітополь, 2010. – С. 27 - 36.

12. Мілько Д.О. Модель конверсії енергії корму в продукцію молочного скотарства / Д.О. Мілько / Праці Таврійського державного агротехнологічного університету / ТДАТУ. – Вип. 11. Т. 5. – Мелітополь, 2011. – С. 142 – 149.

13. Мілько Д.О. Аналіз теоретичних досліджень процесу ущільнення кормової маси / Д.О. Мілько // Вісник Харківського національного технічного університету імені П. Василенка / ХНТУСГ. Вип. 120. – Харків, 2012. – С. 240 – 244.

14. Мілько Д.О. Вплив якісних показників основних компонентів збалансованого раціону на продуктивність молочного скотарства / Д.О. Мілько // Механізація та електрифікація сільського господарства: Міжвідомчий тематичний науковий збірник / ННЦ «ІМЕСГ». – Вип. 97. Т. 1. – Глеваха, 2013. – С. 592 – 598.

15. Мілько Д.О. Методологічні принципи формування системи кормозабезпечення на основі збереження якості кормової сировини / Д.О. Мілько // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету / ТДАТУ. – Вип. 13. Т. 3. – Мелітополь, 2013. – С. 19 – 25.

16. Мілько Д.О. Напрямки вдосконалення технологій заготівлі об'ємних кормів на принципах збереження поживних речовин під час виконання технологічного процесу / Д.О. Мілько // Вісник Харківського національного технічного університе-

ту імені П. Василенка / ХНТУСГ. Вип. 132. – Харків, 2013. – С. 307 – 313.

17. Мілько Д.О. Обґрунтування параметрів процесу ущільнення рослинної сировини в горизонтальному клиноподібному каналі / Д. О. Мілько // Механізація та електрифікація сільського господарства. Міжвідомчий тематичний науковий збірник присвячений XIV Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки» пам'яті П. Василенка / ННЦ «ІМЕСГ». – Вип. 98. Т. 2. – Глеваха, 2013. – С. 89 – 96.

18. Мілько Д.О. Визначення основних параметрів шнекового відокремлення рослинної сировини при боковій подачі / Д.О. Мілько // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник / КНТУ. – Вип. 43. Ч. II. – Кіровоград, 2013. – С. 200 – 205.

19. Мілько Д.О. Моделювання кормових раціонів молочного поголів'я в стійловий період / Д.О. Мілько // Механізація та електрифікація сільського господарства: Міжвідомчий тематичний науковий збірник / ННЦ «ІМЕСГ». – Вип. 99. Т. 1. – Глеваха, 2014. – С. 550 – 559.

20. Безпалов Р.І. Критеріальна модель нерівномірності подачі дрібнодисперсних матеріалів / Р.І. Безпалов, Д.О. Мілько // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету / ТДАТУ. – Вип. 14. Т. 3. – Мелітополь, 2014. – С. 210-216 (здобувач прийняв участь у отриманні результатів та статистичній обробці результатів дослідження).

21. Мілько Д.О. Теоретичні дослідження руху матеріальної точки в просторі двошнекового ущільнювача / Д.О. Мілько // Вісник Харківського національного технічного університету імені П. Василенка / ХНТУСГ. - Вип. 144. – Харків, 2014. – С. 102 – 106.

22. Мілько Д.О. Обґрунтування конструктивно - технологічної схеми самозавантажувального кормороздавача з розширеними властивостями вивантаження / Д.О. Мілько // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету: електронне фахове видання / ТДАТУ. – Мелітополь, 2014. - Вип. 4. Т. 1. – Режим доступу: <http://nauka.tsatu.edu.ua/e-journals-tdatu/e-index.html>.

23. Мілько Д.О. Методика експериментальних досліджень двошнекового ущільнювача / Д.О. Мілько // Вісник Харківського національного технічного університету імені П. Василенка / ХНТУСГ. - Вип. 157. – Харків, 2015. – С. 113 – 119.

24. Мілько Д.О. Методика оцінки фізико-механічних властивостей рослинної сировини / Д.О. Мілько // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація / КНТУ. – Вип 28. – Кіровоград, 2015. – С. 196 – 202.

25. Мілько Д.О. Методика експериментальних досліджень барабанного дозатору із комірковою поверхнею / Д. О. Мілько // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету / ТДАТУ. – Вип. 15. Т. 4. – Мелітополь, 2015. – С. 96-103.

26. Мілько Д.О. Тернарне представлення поверхні відклику трифакторного експерименту / Д.О. Мілько, Р.О. Бакарджієв, І.Б. Комарова // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету / ТДАТУ. – Вип. 15 Т. 3 – Мелітополь, 2015. - С. 224-230 (здобувач отримав дані, та приймав участь в їх статистичній обробці).

27. Мілько Д.О. Методика оцінки процесу потокового змішування стеблових кормів з виключенням систематичної похибки / Д.О. Милько // Механізація та електрифікація сільського господарства: [Загальнодержавний збірник]. - Вип. №2 (101) - Глеваха, 2015. - С. 303-309.

Публікації у наукових періодичних виданнях інших держав та у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз

28. Милько Д.А. Совершенствование конструктивно – технологической схемы оборудования для заготовки растительного сырья во временных полимерных хранилищах / Д.А. Милько // Сборник научных статей по материалам VIII Международной агропромышленной выставки «Агроуниверсал-2013» / ФГБОУ ВПО СГАУ. – Ставрополь, 2013. – С. 39 – 43.

29. Мілько Д.О. Теоретичні дослідження продуктивності двошнекового ущільнювача з однобічним обертанням шнеків / Д.О. Милько // Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти / Копіцентр «Документ - сервіс». - Вип. 2. – Мелітополь, 2014. - С. 61 – 67.

30. Милько Д.А. Теоретические основы процесса последовательного двухстадийного уплотнения растительного сырья / Д.А. Милько // Современные проблемы освоения новой техники, технологий организации технического сервиса в АПК: материалы международной научно – практической конференции, посвященной 60-летию Белорусского государственного аграрного технического университета и памяти первого ректора БИМСХ (БГАТУ) доктора технических наук, профессора В.П. Сулова. / БГАТУ. – Минск, 2014. - С. 70 – 75.

31. Милько Д. Обоснование формы диффузора двухшнекового уплотнителя и теоретические исследования изменяемого в нем давления / Д. Милько // An international journal on operation of farm and agri-food industry machinery. Motrol commission of motorization and energetic in agricultural Vol 17. - №7. - Lublin-Rzeszow, 2015. – P. 127 - 130.

32. Милько Д. Результаты экспериментальных исследований барабанного дозатора с ячеистой поверхностью для сыпучих материалов / Д. Милько // An international journal on operation of farm and agri-food industry machinery. Motrol commission of motorization and energetic in agricultural Vol 17. - №9. - Lublin-Rzeszow, 2015. – P. 61 - 65.

33. Milko D. Results of experimental researches of plant material twin-screw compactor. [Electronic resource]. – on-line // Balkan agricultural engineering review Vol. 20. - University of Ruse, 2015. - P. 53 - 60. – Режим доступу: http://baer.uni-ruse.bg/index.php?option=com_content&view=article&id=66&Itemid=90.

34. Милько Д. Методы исследований физико-механических свойств растительного сырья / Д. Милько // Научни трудове. Земеделска техника и технологии. Аграрни науки и ветеринарна медицина. Ремонт и надеждност. Дизайн и ергономия / Русенски университет «Ангел Кънчев». - Т.15, серия 1.1. – Русе, 2015. - С. 142 – 147.

35 Милько Д. Результаты экспериментальных исследований пресса пред-

варительного уплотнения с клиноподобной камерой для растительных материалов / Д. Милько // An international journal on operation of farm and agri-food industry machinery. Motrol commission of motorization and energetic in agricultural Vol 18. - №1. - Lublin-Rzeszow, 2016. – P. 67-71.

Публікації в інших наукових виданнях

36. Педченко Г.П. Оптимізація кормового раціону високопродуктивних корів / Г.П. Педченко, Д.О. Мілько // Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького. ЛНУВМБТ. – Вип. 2 (56). Т. 15. – Львів, 2013. - С. 257 – 269. (Здобувач запропонував методику розрахунку продуктивності тварин з урахуванням вмісту поживних речовин у раціоні).

Патенти

37. Прилад для визначення щільності консервованих кормів: пат. України № 26807: МПК А01F 15/00 / Р.І. Безпалов, Д.О. Мілько, В.М. Забудченко. - № 200704942; заявл. 03.05.2007; опубл. 10.10.2007, Бюл. №16. (Здобувач здійснив патентний пошук та запропонував схему приладу визначення щільності консервованих кормів).

38. Самозавантажувальний кормороздавач: пат. України № 90743: МПК А01К 5/00 / Д.О. Мілько, Б.В. Болтянський. - № 200803864; заявл. 27.03.2008; опубл. 25.05.2010, Бюл. №10. (Здобувачу належить ідея конструкції самозавантажувального кормороздавача).

39. Бункерний віброущільнювач: пат. України № 69416: МПК А01F 15/00 / Д.О. Мілько. - № 201112708; заявл. 31.10.2011; опубл. 25.04.2012, Бюл. №8.

40. Бункерний віброущільнювач: пат. України № 85026: МПК А01F 15/00 / Д.О. Мілько. - № 201305122; заявл. 22.04.2013; опубл. 11.11.2013, Бюл. №21.

41. Бункерний віброущільнювач: пат. України № 95768: МПК А01К 5/00 / Д.О. Мілько, Н.І. Болтянська. - № 201406693; заявл. 16.06.2014; опубл. 12.01.2015, Бюл. №1. (Здобувач здійснив патентний пошук та запропонував схему бункерного віброущільнювача).

42. Спосіб консервування рослинної сировини: пат. України № 98162: МПК А23К 3/03 / Д.О. Мілько. - № 201408538; заявл. 28.07.2014; опубл. 27.04.2015, Бюл. №8.

43. Дозатор-розподільювач дрібнодисперсних матеріалів: пат. України №103333: МПК G01F 11/24 / Д.О. Мілько, Р.І. Безпалов, С.В. Дереза. - № 201506140; заявл. 22.06.2015; опубл. 10.12.2015, Бюл. №23. (Здобувач здійснив патентний пошук та запропонував конструкцію дозатору).

Матеріали доповідей на наукових конференціях

44. Удосконалення процесу внесення сухого консерванту в сінні рулони / Мілько Д.О., Троїцька О.О., Безпалов Р.І. [та ін.] // «Модернізаційні стратегії розвитку аграрної науки та АПК»: Збірник тез наукових робіт міжнародної науково-практичної конференції 9-10 листопада 2012 р. – Львівська аграрна фундація. Львів, 2012. - С. 14 – 19. (Здобувач оцінив переваги внесення сухого консерванту в сінні рулони).

45. Напрямки вдосконалення технологій заготівлі об'ємних кормів на принципах

збереження поживних речовин під час виконання технологічного процесу / Мілько Д.О. // «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві»: Матеріали I – і Науково - технічної конференції 14 – 28 листопада 2012 р. – Глеваха, 2012. - С. 19 - 22.

46. Вплив якісних показників основних компонентів збалансованого раціону на продуктивність молочного скотарства з урахуванням їх перетравності та кривої лактації / Мілько Д.О. // «Аграрна наука на сучасному етапі розвитку: досвід, проблеми та шляхи їх вирішення»: Збірник тез наукових робіт міжнародної науково–практичної конференції 23-24 листопада 2012 р. – Одеса: «Південноукраїнський центр аграрних досліджень», 2012. - С 24 – 27.

47. Визначення основних параметрів шнекового відокремлювання рослинної сировини при боковій подачі / Мілько Д.О. // «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві»: Матеріали II – і Науково - технічної конференції 2 – 6 грудня 2013 р. – Глеваха, 2013. - С. 24 - 27.

48. Обґрунтування параметрів процесу ущільнення рослинної сировини в горизонтальному клиноподібному каналі / Мілько Д.О. // «Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві»: Матеріали XXII міжнародної науково – технічної конференції та IX Всеукраїнської конференції – семінару аспірантів, докторантів та здобувачів у галузі аграрної інженерії 21 – 23 травня 2014 р. – ННЦ «ІМЕСГ». Глеваха, 2014. - С. 144 – 146.

49. Результати експериментальних досліджень пресу попереднього ущільнення і їх аналіз / Мілько Д.О. // «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві»: Матеріали IV – і Науково - технічної конференції 14-20 грудня 2016 р. – Глеваха, 2016. - С. 76 – 80.

АНОТАЦІЯ

Мілько Д.О. Механіко–технологічні основи розробки технічної системи кормозаготівлі на молочних фермах. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини та засоби механізації сільськогосподарського виробництва. – Таврійський державний агротехнологічний університет, Мелітополь, 2016.

Дисертацію присвячено розробці основ створення технічної системи кормозаготівлі шляхом удосконалення технологічних процесів заготівлі рослинної сировини з метою покращення якості отриманої кормової продукції. Застосування запропонованих технічних засобів, дозволять зменшити втрати поживних речовин у рослинній сировині під час її зберігання та забезпечить галузь сільськогосподарського виробництва країни високопродуктивними, високотехнологічними, енергоощадними та екологічно безпечними агрегатами.

Справедливість даного положення підтверджена результатами теоретичних та експериментальних досліджень фізико–механічних властивостей рослинної сировини, енергетичних, експлуатаційно–технологічних показників роботи агрегату та лінії закладення рослинної сировини до полімерних сховищ із внесенням сипкого консерванту, налаштованих у відповідності з розробленими практичними рекомендаціями щодо вибору їх схем, конструктивних параметрів та режимів роботи.

Запропонована технологія гарантує отримання вартості 1 кормової одиниці -

від 0,86 до 1,0 грн. Використання запропонованої технологічної лінії при заготівлі сенажу забезпечує середньозважену вартість 1 к. од. добового раціону годівлі корів - 1,92 грн. Зниження собівартості молока при використанні даної технології у порівнянні з іншими варіантами становитиме від 11,0 до 20,9%.

Ключові слова: ущільнювач, пресування, фізико–механічні властивості, внесення, дозування, математичне моделювання, нерівномірність, якісні показники, поживні речовини, зберігання, структурування.

АННОТАЦІЯ

Милько Д. А. Механико-технологические основы разработки технической системы кормозаготовки на молочных фермах. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.05.11 - машины и средства механизации сельскохозяйственного производства. - Таврический государственный агротехнологический университет, Мелитополь, 2016.

Диссертация посвящена разработке основ создания технической системы кормозаготовки путем усовершенствования технологических процессов заготовки растительного сырья с целью улучшения качества полученной кормовой продукции. Для решения поставленных задач разработаны и усовершенствованы технические средства, которые позволяют уменьшить потери питательных веществ в растительном сырье во время его хранения и обеспечивают отрасль сельскохозяйственного производства страны высокопроизводительными, высокотехнологичными, энергосберегающими и экологически безопасными агрегатами, а также предложены методологические основы оценки технологических процессов системы кормозаготовки. Принимая во внимание предложенные подходы к анализу технических систем кормозаготовки, а именно применение коэффициентов сохранности питательных веществ в процессе технологических операций заготовки кормового сырья и коэффициента энергетической эффективности получен инструмент подбора технологического оборудования с учетом влияния технологии на конечный продукт молочного скотоводства.

Справедливость данного положения подтверждена результатами теоретических и экспериментальных исследований физико-механических свойств растительного сырья, которые включили в себя разработку методик и исследования коэффициентов упругости первого и второго рода. Примененные методики также позволили определить коэффициент вязкости растительного сырья. Определение энергетических, эксплуатационно-технологических показателей работы агрегата и линии закладки растительного сырья в полимерные хранилища с внесением сыпучего консерванта, позволили определить оптимальные конструктивные и режимные параметры работы.

Представленные технологии заготовки сенажа позволяют обеспечить снижение себестоимости 1 т сенажной массы, которая в зависимости от расстояния к месту закладки сенажа, будет колебаться от 377,14 до 441,70 грн./т. Предложенные технологии гарантируют наименьшую стоимость 1 кормовой единицы - от 0,86 до

1,0 грн. Использование предложенной линии при заготовке сенажа обеспечивает снижение средневзвешенной стоимости 1 к. ед. суточного рациона кормления коров - 1,92 грн. При средних расходах 0,77 к. ед. на 1 кг молока стоимость кормов в 1 кг молока будет составлять 1,47 грн., а себестоимость 1 кг молока составит 2,46 грн. Снижение себестоимости молока при использовании данной технологии в сравнении с другими вариантами будет представлять от 11,0 к 20,9%.

Предложенная технологическая линия гарантирует получение стоимости 1 к. ед. - от 0,86 до 1,0 грн. Использование предложенной технологической линии при заготовке сенажа обеспечивает средневзвешенную стоимость 1 к. ед. суточного рациона кормления коров - 1,92 грн. Снижение себестоимости молока при использовании данной технологии в сравнении с другими вариантами будет составлять от 11,0 до 20,9%.

Ключевые слова: уплотнитель, прессование, физико-механические свойства, внесение, дозирование, математическое моделирование, неравномерность, качественные показатели, питательные вещества, хранение, структуризация.

ANNOTATION

Milko D.A. Mechanical and technological basis for technical systems provide fodder development for dairy farms. - Manuscript.

The thesis for obtaining the scientific degree of doctor of technical sciences, specialty 05.05.11 - machines and facilities for mechanization of agricultural production. - Tavria state agrotechnological university, Melitopol, 2016.

The thesis is devoted to development of foundations of technical systems provide fodder by improving processes harvesting plant material to improve the quality of the resulting feed product. The application of the proposed technical tools will reduce the loss of nutrients in plant material during storage and provide the industry agro production in the country high-performance, high-tech, energy-saving and environmentally friendly units.

The validity of this provision confirmed the results of theoretical and experimental studies of physical - mechanical properties of plant material, energy, operational - technological parameters of the unit and line for loading plant material to polymeric storage with the introduction loose preservative configured in accordance with practical recommendations on the choice of circuits design parameters and operating modes.

The proposed technology guarantees the price of 1 feed units - from 0.86 to 1.0 uah./f. units. Using the proposed production line in harvesting hay provides the weighted average cost of 1 f. units. of daily ration for feeding cows - 1,92 uah. Reducing the cost of milk when using this technology compared to other options range from 11.0 to 20.9%.

Keywords: compactor, pressing, physical and mechanical properties, impacting, dosing, mathematical modeling, unevenness, quality indicators, nutrients, storing, structuring.