



Всеукраїнський науково-технічний журнал

Ukrainian Scientific & Technical Journal

ISSN 2306-8744

DOI: 10.37128/2306-8744-2023-3

# Вібрації в техніці та технологіях



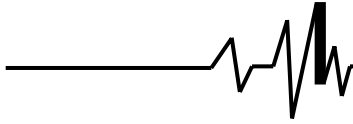
**Всеукраїнський науково-технічний журнал**

**Ukrainian Scientific & Technical Journal**

# **Вібрації в техніці та технологіях**

**№ 3 (110)**

**Вінниця 2023**

**ВІБРАЦІЇ В  
ТЕХНІЦІ ТА  
ТЕХНОЛОГІЯХ**

Журнал науково-виробничого та навчального  
спрямування Видавець: Вінницький національний  
аграрний університет

Заснований у 1994 році під назвою “Вібрації в техніці та  
технологіях”

Свідоцтво про державну реєстрацію засобів масової  
інформації

КВ № 16643-5115 ПР від 30.04.2010 р.

*Всеукраїнський науково-технічний журнал “Вібрації в техніці та технологіях” / Редколегія: Калетнік Г.М. (головний редактор) та інші. – Вінниця, 2023. – 3 (110) – 92 с.*

*Друкується за рішенням Вченої ради Вінницького національного аграрного університету (протокол № 7 від 02.12.2023 р.)*

*Періодичне видання включено до Переліку наукових фахових видань України з технічних наук (Категорія «Б» Наказ Міністерства освіти і науки України від 02.07.2020 р. № 886)*

**Головний редактор**

**Калетнік Г.М.** – д.е.н., професор,  
академік НААН України, Вінницький  
національний аграрний університет

**Заступник головного  
редактора**

**Адамчук В.В.** – д.т.н., професор, академік  
НААН України, Інститут механіки та  
автоматики агропромислового виробництва  
НААН України

**Відповідальний секретар**

**Солона О.В.** – к.т.н., доцент, Вінницький  
національний аграрний університет

**Члени редакційної колегії**

**Булгаков В.М.** – д.т.н., професор, академік  
НААН України, Національний університет  
біоресурсів і природокористування України

**Дерезенько І. А.** – к.т.н., доцент,  
Національний університет  
«Львівська політехніка»

**Купчук І.М.** – к.т.н., доцент, Вінницький  
національний аграрний університет

**Матвєєв В.В.** – д.ф.-м.н., професор,  
академік НАН, Інститут проблем міцності  
імені Г.С. Писаренка НАН України

**Полєвода Ю.А.** – к.т.н., доцент, Вінницький  
національний аграрний університет

**Твердохліб І.В.** – к.т.н., доцент, Вінницький  
національний аграрний університет

**Токарчук О.А.** – к.т.н., доцент, Вінницький  
національний аграрний університет

**Цуркан О.В.** – д.т.н. професор, Вінницький  
національний аграрний університет

**Яропуд В.М.** – к.т.н., доцент, Вінницький  
національний аграрний університет

**Зарубіжні члени редакційної колегії**

**Максімов Джордан Тодоров** – д.т.н., проф., Технічний Університет Габрово (Болгарія)

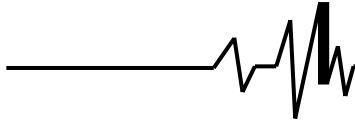
Технічний редактор **Зампій М.А.**

Адреса редакції: 21008, Вінниця, вул. Сонячна 3, Вінницький національний аграрний  
університет, тел. 46 – 00– 03

Сайт журналу: <http://vibrojournal.vsau.org/>

Електронна адреса: [vibration.vin@ukr.net](mailto:vibration.vin@ukr.net)



**З М І С Т****1. ТЕОРІЯ ПРОЦЕСІВ ТА МАШИН**

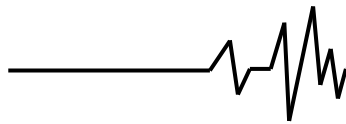
<i>Гриценко О. П., Степаненко С. П., Насонов В. А., Говоров О. Ф.</i> <b>АНАЛІТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ АСИМЕТРИЧНОЇ ДИСКОВОЇ БОРОНИ .....</b>	<b>5</b>
<i>Солона О.В., Замрій М.А.</i> <b>ЗАСТОСУВАННЯ ДИНАМІЧНОЇ СИНХРОНІЗАЦІЇ ПРИ АГРЕГАТУВАННІ ВІБРОЗБУДЖУВАЧІВ АДАПТИВНОГО ВІБРАЦІЙНОГО МЛИНА .....</b>	<b>14</b>
<i>Степаненко С. П., Котов Б. І., Волик Д. А., Замрій М. А.</i> <b>МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕМІЩЕННЯ ЗЕРНОВОГО МАТЕРІАЛУ НА ПОВЕРХНІ БЕЗПРОВАЛЬНОГО РЕШЕТА ВІБРОПНЕВМОІМПУЛЬСНОГО СЕПАРАТОРА.....</b>	<b>22</b>
<i>Polievoda Y., Volynets Ye.</i> <b>STUDY OF THE CHARACTERISTICS OF VIBRORHEOLOGICAL MODELS OF BULK RAW MATERIALS IN THE WORKING AREA OF A VIBROCENTRIFUGAL MIXER.....</b>	<b>35</b>
<i>Дубчак В.М., Манжос Е.О.</i> <b>ВСТАНОВЛЕННЯ ОСНОВНИХ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КЛАСИЧНИХ ГЕОМЕТРИЧНИХ ЄМНОСТЕЙ З ОДНОРІДНИМИ НАПОВНЮВАЧАМИ.....</b>	<b>44</b>

**2. МАШИНОБУДУВАННЯ ТА МАТЕРІАЛООБРОБКА**

<i>Яропуд В.М., Говоруха В.Б., Дацюк Д.А.</i> <b>ВИПРОБУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ РОБОТИ ДОЗАТОРА ВИСІВНОГО АПАРАТА СЕЛЕКЦІЙНОЇ СІВАЛКИ ДРІБНОНАСІННЄВИХ КУЛЬТУР.....</b>	<b>53</b>
<i>Trukhanska O.</i> <b>ENSURING RELIABILITY AND RESOURCE CONSERVATION COULTERS DISCS OF GRAIN SEEDERS.....</b>	<b>61</b>
<i>Говоруха В.Б., Луц П.М., Кисельов О.В.</i> <b>ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ПРЕСУВАННЯ ПАЛИВНИХ БРИКЕТІВ З РОСЛИННИХ МАТЕРІАЛІВ.....</b>	<b>67</b>
<i>Поліщук Л.К., Слабкий А.В., Кудраш В.О., Ляховченко С.С.</i> <b>АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ РЕКУПЕРАТИВНИХ АМОРТИЗАЦІЙНИХ СИСТЕМ.....</b>	<b>75</b>

**3. ПЕРЕРОБНІ ТА ХАРЧОВІ ВИРОБНИЦТВА**

<i>Твердохліб І.В., Солона О.В., Полевода Ю.А., Холодюк О.В.</i> <b>ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА РОСЛИННОЇ БІЛКОВО-ВІТАМІННОЇ ПАСТИ.....</b>	<b>85</b>
---	-----------

**Твердохліб І.В.**

к.т.н., доцент

**Солоня О.В.**

к.т.н., доцент

**Полєвода Ю.А.**

к.т.н., доцент

**Холодюк О.В.**

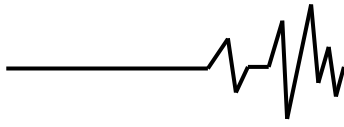
к.т.н., доцент

**Вінницький національний  
аграрний університет****Tverdokhlib I.**Ph.D. of Engineering, Associate  
Professor**Solona O.**Ph.D. of Engineering, Associate  
Professor**Polievoda Y.**Ph.D. of Engineering, Associate  
Professor**Kholodiuk O.**Ph.D. of Engineering, Associate  
Professor**Vinnitsia National Agrarian  
University****УДК.636.352/353; 631.362****DOI: 10.37128/2306-8744-2023-3-10****ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА  
РОСЛИННОЇ БІЛКОВО-  
ВІТАМІННОЇ ПАСТИ**

*Проблема забезпечення населення України продукцією тваринного походження наразі є дуже актуальною, адже м'ясними продуктами воно забезпечено ледве на дві третини, а молочними продуктами – трохи більше ніж на половину. Традиційні технології заготівлі не можуть забезпечити достатньої кількості високоживних кормів, в основному через значні втрати при реалізації технологічних операцій. Одним з шляхів підвищення інтенсивності кормовиробництва є фракційна заготівля високобілкових зелених рослин з виділенням білково-вітамінного концентрату в якості основного виду корму. Аналіз останніх досліджень та публікацій показав що наразі не існує єдиних, науково обґрунтованих рекомендацій щодо раціонального набору машин та режимних параметрів їх роботи при реалізації даної технології. За результатами попередніх досліджень був сформований експериментальний комплекс машин для реалізації технології вологого фракціонування люцерни. Технологічна схема включає такі лінії як дозування, дезінтеграції (подрібнення) і вологого фракціонування зелених рослин, лінія коагуляції зеленого соку, лінія розділення суспензії яку отримали в результаті коагуляції, лінія сушіння рослинного білково-вітамінного концентрату та приготування з нього пелет. Моделювання роботи зазначеного комплексу машин дозволило визначити раціональні параметри роботи більшості з них, намітити шляхи подальшого удосконалення номенклатури машин, їх розташування в технологічних лініях тощо. Наприклад, для збільшення продуктивності операції фільтрування суспензії отриманої після коагуляції зеленого соку люцерни, доцільно перед направленням її у фільтр-прес направляти в спеціальні ємності для відстоювання, що дозволить збільшити вихід білково-вітамінного концентрату після фільтрування. Проведене моделювання експериментального комплексу машин для реалізації фракційної технології заготівлі люцерни з отриманням білково-вітамінного концентрату показало перспективність даної технології для розвитку галузі кормовиробництва.*

**Ключові слова:** люцерна, вологе фракціонування, коагуляція білку, подрібнення, сушіння.

**Постановка проблеми.** Проблема забезпечення населення нашої планети продуктами харчування наразі є головним викликом сьогодення. Природні та антропогенні катаклізми, стрімке зростання населення Землі (вже більше 8 мільярдів людей!) та інші сучасні виклики дійсно заставляють людство серйозно сприймати цю проблему. Особливо це стосується головної компоненти харчових продуктів, а саме білка. Причому, особливо це стосується саме тваринного білка, без якого не може бути і мови про пристойний рівень життя країни. Адже у розвинених країнах норма споживання продукції тваринного походження, нижче якої починається голодування і незворотні процеси в організмі, становить 1650 ккал. В той же час в Україні ця норма в два рази менша [1]. За тими ж даними м'ясом та продуктами його переробки населення нашої країни забезпечено ледве на дві третини, а молочними продуктами –



трохи більше ніж на половину. Ця негативна картина, яка спостерігається вже на протязі багатьох років, пов'язана з практично майже катастрофічним станом вітчизняного тваринництва, особливо великою рогатою худобою. Але інтенсивне тваринництво неможливе без розвинутого кормовиробництва, тобто галузі яка може забезпечити тварин якісними кормами що мають високий коефіцієнт перетравності [2]. Звичайно, потрібно підвищувати якість традиційних кормів (сіно, сінаж, силос, комбіновані корми тощо), шукати можливості інтенсифікації традиційних технологій заготівлі кормів, але варто звернути увагу і на нові і трохи забуті технології по виробництву високобілкових кормів. До речі, ці ж технології можна використовувати і для виробництва харчового білка. В даній роботі розглянуто дуже важливу проблему забезпечення тварин кормами з підвищеною поживністю, а саме проблему виробництва продуктів фракційної переробки люцерни з отриманням в тому числі високобілкових компонентів.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Забезпечення населення тваринною продукцією напряму залежить від кількості та якості кормів якими годують тварин. Зазвичай ми так і розставляємо пріоритети: спочатку кількість, а потім вже і якість кормів. На жаль, тваринництво України поки що ні кількісно, ні якісно не забезпечено кормами, і, звичайно, не може виконати своє основне завдання – забезпечити в достатній кількості доступними по ціні та якості продуктами харчування. Підтверджені цьому сумному факту досить багато, але наведемо один досить простий, а тому ще більш вражаючий факт: в закордонних економічних та технологічних розрахунках приймають що на одному гектарі землі годуються приблизно дві корови, у нас же всі розрахунки виходять з постулату: один гектар – одна корова [3]. На жаль цей факт ще раз підтверджує незадовільну ефективність більшості традиційних технологій заготівлі кормів в Україні. Значною мірою це пов'язано з втратами поживних речовин на кожному з етапів заготівлі кормів. В тій же статті [3] відмічається що до годівниці корови доходить ледве 45% вирощеної на полі люцерни (мається на увазі енергетичний еквівалент вирощеного корму). Одним з можливих шляхів мінімізації втрат поживних речовин при заготівлі кормів є зменшення кількості технологічних операцій та перенесення більшості з них на стаціонар.

З цієї точки зору одним з перспективних шляхів зменшення втрат поживних речовин є технологія виробництва білково-вітамінного концентрату (пасти). Деякі з аспектів цієї технології були відображені в роботах [4,5,6]. В роботі [4] представлені дані по виробництву

білково-вітамінного концентрату з люцерни в якому вміст протеїну доведено до 50% за значною кількістю каротину та інших поживних речовин. Автори вже проводили дослідження з елементами технології заготівлі білково-вітамінного концентрату, зокрема в [5] були досліджені деякі теплофізичні властивості фракцій переробки зелених рослин люцерни, а в [6] наведені результати досліджень сушіння зеленого жому та пелет концентрату.

Роботи [7] і [8] також присвячені виробництву високобілкових кормів шляхом фракційної переробки зелених трав. Причому робота [8] є логічним розвитком попередньої праці. В ній запропонований метод кавітаційно-диспергаційного приготування кормів. Це вже знайомий метод фракційної переробки рослин, при цьому процес подрібнення доводиться до дезінтеграції, тобто подрібнення на клітинному рівні. Звичайно, вихід зеленого соку з рослин залежить від ступеня їх подрібнення, але метод дезінтеграції вимагає наявності складного обладнання для реалізації процесу, значних енергозатрат та відповідних приміщень і високої кваліфікації працівників.

Ще одна капітальна праця [9] присвячена теоретичним аспектам реалізації окремих технологічних процесів та операцій які є складовими технології фракційної переробки зелених рослин з отриманням в тому числі білково-вітамінного концентрату.

Вчені та виробничники Європи та США також працюють над проблемою виробництва та підвищення якості рослинного білка. Деякі дослідження присвячені темі отримання харчового білка із рослин. Так, наприклад, в [10] описується вологе фракціонування для отримання харчового білкового концентрату із листя люцерни. Особливістю даної технології є процес коагуляції істивних білків шляхом підкислення зеленого соку до рН 4,0. Як видно з інших публікацій, традиційні способи фракціонування, а особливо коагуляції, не завжди задовольняють виробничників і вони шукають інші шляхи реалізації технологічних операцій. Так, в роботах [11,12] описуються шляхи виділення білку шляхом кислотного осадження лимонною та молочною кислотами та шляхом заморожування в рідкому азоті та морозильній камері. В роботі [13] висвітлені питання модернізації обладнання для реалізації технології фракційної заготівлі кормів. Модернізація сушарки яка раніше призначалась для сушіння свіжескошеної люцерни дозволила перепрофілювати на випуск концентрату листового протеїну і сухого жому. Загальне споживання енергії при цьому зменшилось на 35%. Продукція яка була отримана на цій технологічній лінії отримала високу оцінку



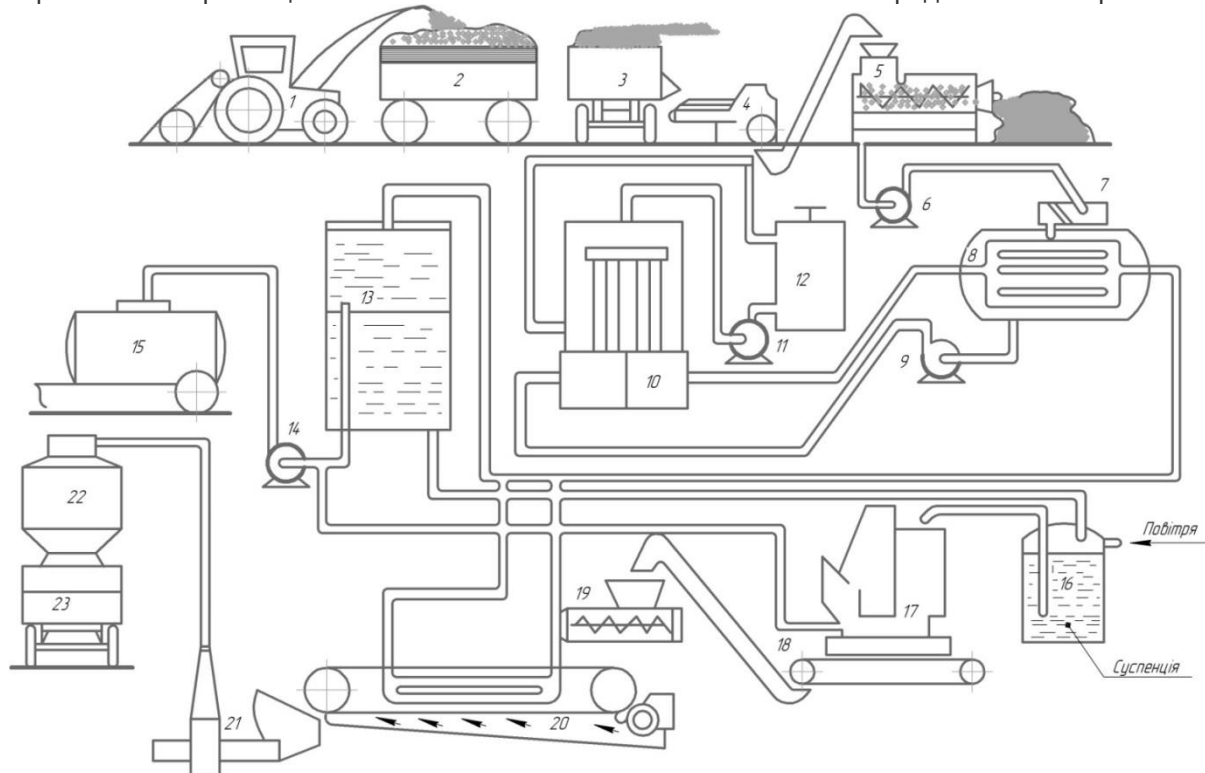
фермерів які використовували її для годівлі тварин.

Як показує огляд останніх досліджень галузі фракційної заготівлі кормів, вона знаходить все ширше застосування в різних країнах, в тому числі і в Україні. Але поки що не існує єдиної методики або чітких рекомендацій щодо загальних питань реалізації технологій фракційної заготівлі люцерни, конюшини чи інших високобілкових рослин. В кожному окремому випадку номенклатура та конфігурація використання машин та обладнання для реалізації технології мають індивідуальні особливості. В нашій роботі ми намагались узагальнити існуючий досвід фракційної заготівлі кормів з виробництвом білково-вітамінного

концентрату і зробити попередні висновки щодо підвищення ефективності даної технології.

**Мета роботи.** Метою роботи є підвищення ефективності виробництва кормів для тваринництва шляхом розробки фракційної технології що передбачає отримання декількох видів кормів з високим вмістом білку, зменшення втрат поживних речовин за рахунок розміщення обладнання на стаціонарі.

**Виклад основного матеріалу.** На основі аналізу попередніх досліджень та літературних джерел розроблена технологічна лінія фракційної переробки люцерни з отриманням білково-вітамінного концентрату та інших кормових компонентів. Схема технологічної лінії представлена на рис. 1.



**Рис.1** Схема технологічної лінії фракційної переробки люцерни

1 – косарка з подрібнювачем; 2, 15, 23 – транспортні засоби; 3 – дозатор; 4 – подрібнювач; 5 – прес для віджиму соку; 6,9,11,14 – насос; 7 – пристрій для очищення соку від домішок; 8, 13, 16 – ємність; 10 – теплообмінник; 12 – електродвигун; 17 – фільтр-прес; 18 – транспортер; 19 – прес-гранулятор; 20 – сушка для концентрату; 21, 22 – пневмотранспортер

Потрібно зауважити що це один з можливих варіантів технологічної схеми, адже кожен з наведених технологічних операцій можна виконувати декількома комплектами обладнання. З даним комплектом обладнання проведено моделювання його функціонування згідно доступних технічних характеристик, якості роботи тощо.

Пропонується цех для реалізації технології вологого фракціонування люцерни. Проектна потужність цеху становить 8-10 т/год по зеленій масі.

Цех складається з наступних технологічних ліній: дозування, дезінтеграції (подрібнення) і вологого фракціонування зелених рослин; коагуляції зеленого соку; розділення суспензії яку отримали в результаті коагуляції; сушіння рослинного білково-вітамінного концентрату та приготування з нього пелет (гранул).

Лінія дозування, дезінтеграції (подрібнення) і вологого фракціонування зелених рослин включає: кормороздавач КТУ-10 оснащений електроприводом для роботи на стаціонарі, два подрібнювача кормів «Волгарь-



5», шнековий прес Т1-ВПО-20А виробництва Ніжинського механічного заводу, транспортери ТК-5 і ШВС-40 для подачі зеленої маси від подрібнювачів в бункер пресу, а потім отриманого жому в сушарку або транспортний засіб; насос ФГ-57,5/9,5 для перекачування зеленого соку в накопичувальну ємність. Для очищення соку від волокнистих домішок на піддон шнекового пресу встановлюється сітка з розміром комірки 1,5 мм.

На вхід технологічної лінії поступає скошена в полі кормозбиральним комбайном або косаркою-плющилкою зелена маса люцерни. Після проведення операцій подрібнення і пресування на виході отримують зелений сік і жом. Зелений сік поступає на наступну технологічну лінію коагулювання, а жом може використовуватись як добавка до сінажної маси, або для виготовлення сухої добавки до концентрованих кормів після сушіння та гранулювання (пресування).

*Лінія коагуляції зеленого соку* включає наступне обладнання: накопичувальний резервуар зеленого соку; кожухотрубний двоходовий теплообмінник з плаваючою верхньою головкою; дві секції елементного теплообмінника ТЕ; електроводонагрівач ЕПЗ-100; два відцентрових насоси 2К6 – перший для подачі соку із накопичувального резервуару в трубний простір теплообмінників, другий – для нагнітання теплоносія в їх міжтрубний простір.

Накопичувальний резервуар для зеленого соку ємністю 5 м<sup>3</sup> виконує роль регенеруючого теплообмінника, з цією метою всередині резервуару вмонтований зміювик, який виконаний з труб діаметром 75 мм. Скоагульований сок поступає в загальний колектор зміювика, потім в паралельні секції труб і надалі через загальний колектор відводиться в один з відстійників. Таке паралельне включення секцій дозволяє зменшити швидкість і зменшити довжину шляху потоку, що сприяє зменшенню гідралічного опору зміювика.

Кожухотрубний двоходовий теплообмінник з плаваючою верхньою головкою складається з кожуха діаметром 0,4 м, нижньої та верхньої трубних решіток, в яких закріплені пучок труб довжиною 1,5 м і діаметром 25 мм. До трубних решіток прикріплені розподільчі камери (кришки). Нижня камера має перегородку яка розділяє трубний пучок на дві секції, по яким послідовно рухається сік. Загальна поверхня теплообміну становить 6 м<sup>2</sup>.

Горизонтальний двосекційний теплообмінник складається з послідовно з'єднаних елементів, кожний з яких являє собою простий кожухотрубний теплообмінник. Сік в ньому рухається по трубах, а теплоносій (гаряча вода) – по міжтрубному просторі. Діаметр кожуху

становить 0,15 м, довжина кожного елемента – 4 м, кожний трубний пучок має 5 труб. Обидва теплообмінники включені в технологічну лінію послідовно.

На вході лінії подається зелений сік, а на виході отримують суспензію, дисперсійним середовищем якої є коричневий сік, а дисперсною фазою – скоагульований рослинний білок.

*Лінія розділення суспензії яку отримали в результаті коагуляції* включає в себе наступні елементи: чотири відстійника періодичної дії; компресор ВУ-3/8 з ресивером; фільтр-прес ФПАКМ-12,5; апарат для пневматичної подачі суспензії в камери фільтр-преса.

Відстійники які виконані на базі резервуарів для молока В2-ОВМ-6,3 призначені для попереднього згущення суспензії. Кожень відстійник являє собою циліндричний резервуар зі сферичним дном. В резервуарі встановлена мішалка з похилими лопатями для перемішування суспензії перед подачею її в камери фільтр-пресу. Відстійники мають також систему відкачування коричневого соку, яка включає відцентровий насос 2КМ6, трубопроводи та гнучкі шланги із запірною арматурою.

Пристрій для пневматичної подачі суспензії в камери фільтр-пресу включає в себе накопичувач суспензії, розподільник та трубопроводи. Тиск повітря в даній може змінюватись в межах 0,2 – 1,0 МПа.

На фільтр-пресі ФПАКМ-12,5 відбувається розділення тонко дисперсної суспензії з розміром часток твердої фази більше 3 мм при температурі 353К. Після виконання цієї операції на виході даної технологічної лінії

*Лінія сушіння рослинного білково-вітамінного концентрату та приготування з нього пелет (гранул)* включає в себе наступні елементи: два похилих лотки які встановлені під кутом 0,785 рад з обох сторін фільтр-пресу; збірний горизонтальний і похилі стрічкові транспортери ТК-13; макаронний прес, наприклад ПМ-50, для виробництва пелет; конвеєрна сушарка для пелет; бункер-накопичувач підсушених пелет.

Сушарка призначена для сушіння пелет білково-вітамінного концентрату діаметром 2-6 мм з початковою вологістю 50-60% в шарі товщиною 0,03-0,05 м. Основними частинами сушарки є корпус, ведучий та ведений барабани, стрічка з дротяної стрічки яка рухається з швидкістю 0,015 м/с, приводу та вивантажувального лотка.

Після машини для виготовлення пелет і сушарки встановлені пневмотранспортери для завантаження сушарки і накопичувача сухих пелет. Час сушіння регулюється зміною товщини шару пелет на конвеєрі і температурою





теплоносія. Для підігріву повітря використовують електрокалорифер СФОА-25.

Бункер-накопичувач призначений для накопичування пелет і досушування їх до кондиційної вологості (14-15%). Складається з бункера з конічним дном який встановлений на платформі, і вентилятора Ц4-70№5. Повітря подається через люк в днищі бункера. Вивантаження досушених пелет в мішки проводиться через шиберну заслінку.

Особливість технологічного процесу полягає в наступному. Після віджимання подрібненої маси люцерни отриманий зелений сік частково очищується від крупних волокнистих частинок за допомогою металевої сітки, яка встановлена на дні пресу Т1-ВПО-20А, і перекачується в накопичувальний резервуар. Облік соку здійснюється водяним лічильником який встановлений в нагнітальному трубопроводі насосу.

Отриманий жом вологістю 65...70% направляється в сушарку і використовується для приготування трав'яної муки, а сік насосом перекачується в накопичувальний резервуар об'ємом 2,5 м<sup>3</sup>. В цеху по виробництву білково-вітамінного концентрату передбачено також завантаження жому в транспортні засоби і направляється для закладки на жом або безпосередньо для згодовування тваринам.

Віджатиї сік з накопичувального резервуару закачується у вертикальний трубчастий 2-ходовий теплообмінник де нагрівається до температури 338...343 К (65...70°C). Остаточний нагрів рідини до температури 353...358 К (80...85°C) відбувається в горизонтальному трубчастому теплообміннику який працює при великих швидкостях компонентів процесу сушіння. Таке поєднання теплообмінників дозволяє виключити розшарування рідин внаслідок різниці їх температур і усунути утворення застійних зон.

Сік після коагуляції проходить через змійовик який знаходиться в накопичувальному резервуарі, охолоджується там до температури 287 К (14°C) і направляється у вертикальні резервуари В2-ОМВ-6.

Таким чином, накопичувальна ємність 8 виконує функцію регенеративного теплообмінника, в якому відбувається попередній нагрів свіжого зеленого соку до температури 309...313 К (36...40°C) за рахунок тепла скоагульованого соку.

Теплоносієм для нагріву соку є вода що циркулює в між трубному просторі теплообмінників по замкнутому контуру. Для нагрівання води використовують електроводонагрівач ЕПЗ-100-12. Водонагрівач працює автоматично і підтримує температуру в міжтрубному просторі теплообмінників 373...403 К (100...130°C).

Суспензія з вмістом сухої речовини 6...7% самопливом подається в ємність пристрою для пневмозавантаження 16, звідки стисненим повітрям видавлюється в камери фільтр-пресу ФПАКМ-12,5-17.

В процесі фільтрації суспензії рідка фаза (коричневий сік) проходить через фільтрувальну тканину в камеру для прийому фільтрату і далі в колектор відводу, а тверда фаза (білково-вітамінна паста) затримується на поверхні тканини. В якості фільтрувальної тканини використовується бавовняний бельтинг.

В період операції фільтрування на поверхні тканини наливається шар пасти товщиною 3...8 мм в залежності від тривалості операції і концентрації суспензії. Потім пасту віджимають гумовими діафрагмами, для чого в камери діафрагм подається стиснуте повітря.

Додаткове знімання вологи з отриманого осаду здійснюється його просушуванням. В цьому випадку через шар пасти продувають повітря тиском 0,5...0,8 МПа. Віджимання осаду з наступним його сушінням дозволяє знизити вологість пасти до 55...60%. Після розкриття фільтр-пресу між фільтруючими плитами утворюється зазор. Тканина починає рухатись, паста яка розташована на ній виноситься з простору між плитами, спеціальні ножі знімають і скидають її в похилі лотки які встановлені з обох сторін фільтр-пресу.

Після коагуляції концентрація дисперсної фази становить всього 5...6%, тому розділення суміші проводиться у два етапи. На першому етапі застосовується відстоювання, на другому етапі – фільтрування. Первинне згущення суспензії відбувається до концентрації 9...11%, як більш дешевий процес, застосовується для підвищення швидкості процесу наступного розділення шляхом фільтрування. З цією метою зкоагульований сік після часткового охолодження в сушарці і теплообміннику який встановлений в накопичувальному резервуарі, направляється в один з відстійників. Після заповнення чергового відстійника суспензія залишається в стані спокою на 4...5 годин. Тверді частинки опускаються на дно відстійника і створюють шар осаду, вище якого розташована зона згущеної суспензії, ще вище знаходиться зона вільного осаджування над якою залишається коричневий сік. Для забезпечення безперервності процесу в технологічній лінії встановлено чотири відстійника, які заповнюються суспензією почергово.

Після відстоювання суспензії забірний пристрій гнучкого шлангу який вмонтований у відстійник, встановлюється вище зони вільного осаджування, і коричневий сік перекачуються в мобільну ємність або мобільну машину для внесення рідких добрив. Суспензія що лишається



у відстійнику з вмістом сухої речовини 9...11% продовжує перемішуватись.

Згущена суспензія пневматичним пристроєм подається в камери фільтр-пресу ФПАКМ-12,5. Отриману пасту протеїнового концентрату вологістю 50...60% формували в пелети, підсушували до кондиційної вологості, подавали в ємність для охолодження і через шиберну заслінку вивантажували в підготовлену тару.

Описана технологія була перевірена на другому укосі люцерни. Фактична урожайність трави – 147 ц/га, початкова вологість – 84,7%. Ботанічний склад по масі: 89,3% конюшини (люцерни) і 10,7% різнотрав'я.

Моделювання виробничого процесу дозволяє визначити що при подачі в фільтр-прес соку після коагуляції без попереднього згущення, коли вміст сухої речовини в ньому не перевищує 5...7%, при тиску фільтрування 5,0, а тиску віджимання  $6,0 \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup>, тривалість фільтрування і віджимання дорівнює відповідно 300 і 720 секунд, товщина намитого осаду становить

3 мм при вологості 49,5%. Продуктивність фільтр-преса по вологому концентрату становить 100...120 кг/год. Для збільшення продуктивності фільтр-преса необхідно перед подачею в нього згущати суспензію до 9...12% шляхом відстоювання в ємностях 13.

Після віджимання подрібнених зелених рослин отримують жом вологістю 65...70% і сок який містить до 7,0% сухої речовини. Відповідно, змінилась кількість каротину та протеїну в жомі та білково-вітамінному концентраті порівняно до початкової величини в зеленій рослині. Якщо в зеленій рослині вміст каротину становить 200 мг/кг і протеїну – 20%, то в жомі буде 150 мг/кг каротину і 12-13% протеїну. В білково-вітамінному концентраті, звичайно, ці значення будуть вище – 50% протеїну і 420 мг/кг каротину.

Дані моделювання роботи лінії по виробництву білково-вітамінного концентрату показують перспективність даного напрямку кормовиробництва. Звичайно, як і в інших способах заготівлі кормів, ця технологія має свої переваги та недоліки. Недоліком можна вважати відносно великі енергозатрати які, перш за все, пов'язані з операціями сушіння та коагуляції. Подальші дослідження з метою зменшення енергетичних затрат можна шукати в сфері застосування альтернативних джерел енергії при виконанні даних операцій, можливого застосування хімічної коагуляції зеленого соку, раціонального підбору технологічного обладнання згідно продуктивності тощо.

Але дана технологія заготівлі кормів має і безсумнівні переваги перед іншими, «традиційними» технологіями заготівлі кормів. Перш за все, це значне скорочення втрат

поживних речовин при їх проходженні всього технологічного шляху від поля до годівниці. Адже практично всі операції проводяться на стаціонарі, без значних переміщень матеріалу, що завжди супроводжується значними втратами поживних речовин. Окрім того, розділення цільного корму на фракційні складові підвищує його сумарну енергетичну цінність, дозволяє комбінувати окремими фракціями направляючи їх для вирішення окремих потреб в годівлі тварин.

#### Висновки:

1. Традиційні технології заготівлі кормів із зелених рослин не здатні задовольнити потреби тваринництва через значні втрати поживних речовин при реалізації технологічних операцій. Одним з шляхів інтенсифікації галузі кормовиробництва є впровадження фракційних технологій заготівлі високобілкових зелених рослин.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить про те що наразі не існує чітко визначених рекомендацій щодо номенклатури машин для реалізації даної технології та режимів роботи встановленого обладнання. В кожному конкретному випадку дані питання вирішуються індивідуально.

3. Проведене моделювання експериментального комплексу машин для реалізації фракційної технології заготівлі люцерни з отриманням білково-вітамінного концентрату показало перспективність даної технології для розвитку галузі кормовиробництва.

4. Отримані модельні результати режимних параметрів роботи експериментального обладнання показало доцільність використання більшості запропонованих машин.

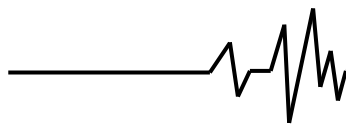
Для збільшення продуктивності операції фільтрування зеленого соку після коагуляції доцільно встановити додаткові ємності для відстоювання суспензії перед її подачею в фільтр-прес.

#### Список використаних джерел

1. Кирилюк І. М. Соціально-економічні чинники загострення проблеми безпечності та якості продуктів харчування тваринного походження в Україні. *Ефективна економіка* № 12. 2017

2. Петриченко В.Ф., Корнійчук О.В., Бабич А.О. Концепція розвитку кормовиробництва в Україні на період до 2025 року. 12 с. URL:<http://fri.vin.ua/>

3. Спирін А.В., Твердохліб І.В., Купчук І.М., Побережець Ю.М. Обґрунтування енергоефективних режимів процесу досушування продуктів фракційної переробки люцерни.



Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2021. №2(113). С.142-150.

4. Мірненко В. Ефективність кормовиробництва: скільки корів може прогодувати гектар. *Молоко і ферма*. 2018. №2(45).

5. Ковбасюк П. Вирощування люцерни та її кормові цінності *Пропозиція*. 2013. №12. С.42-45.

6. Кобець А.С., Чурсінов Ю.О., Пугач А.М. та ін. Землеробська механіка. Інноваційні технології харчових виробництв: Монографія Дніпро: «Свідлер А.Л.» 2022.-Т.4. 460 с.

7. Шевченко І.А. Кормове забезпечення органічного тваринництва. *Тваринництво Степу України*. 2022. Том 1. №1. С.111-122.

8. Спирін А.В., Твердохліб І.В. Рівноважний вологовміст продуктів переробки люцерни. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2020. №1(96). С.118-129.

9. Шевченко І.А. Аналіз технологій виробництва білково-вітамінних кормових добавок. *Зб. Наукових праць ІМТ НААН «Механізація, екологізація та конвертація біосировини у тваринництві»* Вип. 2(10) 2012. С.3-17.

10. Fiorentini R., Galoppini G. Pilot Plant Production of an Edible Alfalfa Protein Concentrate. *Journal of Food Science*. 2006. 46(5): 1514-1517.

11. Nissen S.H., Lubeck M., Muller A.H., Dalsgaard T.K. Protein recovery and quality of alfalfa extracts obtained by acid precipitation and fermentation. *Bioresource Technology Reports*. Volume 19, September 2022, 101190.

12. Hernandez A., Hernandez T., Martinez C. Production and chemical composition of alfalfa protein concentrate obtained by freezing. *Animal Feed Science and Technology*. Volume 72, Issues 1-2, May 1998, Pages 169-174.

13. Edwards R.H., Miller R.E., Kohler G.O. Commercial scale production of alfalfa leaf protein concentrate. *ASAE Tech. Pap.* 15 Dec. 1981. J.V. 81-1524.

## References

1. Kyrylyuk I.M. (2017). Sotsial'no-ekonomichni chynnyky zahostrennya problemy bezpechnosti ta yakosti produktiv kharchuvannya tvarynnoho pokhodzhennya v Ukraini. [Social and economic factors exacerbating the problem of safety and quality of food of animal origin in Ukraine]. *Efektivna ekonomika*, 12. [in Ukrainian].

2. Petrychenko V.F., Korniychuk O.V. & Babych A.O. (2014). Kontseptsiya rozvytku kormovyrobnystva v Ukraini na period do 2025 roku [The concept of feed production development in Ukraine for the period up to 2025]. Vinnytsya, 12 s. [in Ukrainian]. URL:<http://fri.vin.ua>

3. Spirin A.V., Tverdokhlib I.V., Kupchuk I.M., Poberezhets' YU.M. (2021). Obgruntuvannya enerhoefektyvnykh rezhymiv protsesu dosushuvannya produktiv fraktsiynoyi pererobky lyutserny. [Justification of energy-efficient modes of the process of drying alfalfa fractional processing products]. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK*. №2(113), 142-150. [in Ukrainian].

4. Mirnenko V. (2018). Efektyvnist' kormovyrobnystva: skil'ky koriv mozhe prohoduvaty hektar. [Fodder production efficiency: how many cows can a hectare feed]. *Moloko i ferma*. №2(45). [in Ukrainian].

5. Korbasyuk P. (2013). Vyroshchuvannya lyutserny ta yiyi kormovi tsinnosti Zhytomyr. [Growing alfalfa and its fodder values]. *Propozytsiya*. №12, 42-45. [in Ukrainian].

6. Kobets' A.S., Chursinov YU.O., Puhach A.M. ta in. (2022). *Zemlerobs'ka mekhanika*. Innovatsiyni tekhnolohiyi kharchovykh vyrobnystv. [Agricultural mechanics. Innovative food production technologies]. Dnipro: Svidler A.L. [in Ukrainian].

7. Shevchenko I.A. (2022). *Kormove zabezpechennya orhanichnoho tvarynnystvva*. [Feed supply for organic livestock]. *Tvarynnystvo Stepu Ukrainy*. №1, 111-122. [in Ukrainian].

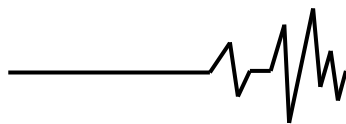
8. Spirin A.V., Tverdokhlib I.V. (2020). Rivnovazhnyy volohovmist produktiv pererobky lyutserny. [Equilibrium moisture content of alfalfa processing products]. *Vibratsiyni v tekhnitsi ta tekhnolohiyakh*. №1(96), 118-129. [in Ukrainian].

9. Shevchenko I.A. (2012). Analiz tekhnolohiy vyrobnystvva bilkovo-vitaminnnykh kormovykh dobavok. [Analysis of technologies for the production of protein and vitamin feed additives]. *Mekhanizatsiya, ekolohizatsiya ta konvertatsiya biosyrovyny u tvarynnystvvi*. 2(10), 3-17. [in Ukrainian].

10. Fiorentini R., Galoppini G. (2006). Pilot Plant Production of an Edible Alfalfa Protein Concentrate. *Journal of Food Science*. 46(5), 1514-1517. [in English].

11. Nissen S.H., Lubeck M., Muller A.H., T.K. (2022). Dalsgaard Protein recovery and quality of alfalfa extracts obtained by acid precipitation and fermentation. *Bioresource Technology Reports*. Vol. 19, 101190. [in English].

12. Hernandez A., Hernandez T., Martinez C. (1998). Production and chemical composition of alfalfa protein concentrate obtained by freezing. *Animal Feed Science and Technology*. Vol. 72, Issues 1-2, 169-174. [in English].



13. Edwards R.H., Miller R.E., Kohler G.O. (1981). Commercial scale production of alfalfa leaf protein concentrate. ASAE Tech. Pap. USA, J.V. 81-1524. [in English].

#### PRODUCTION TECHNOLOGY OF VEGETABLE PROTEIN-VITAMIN PASTE

*The problem of providing the population of Ukraine with products of animal origin is currently very urgent, because barely two-thirds of the population is supplied with meat products, and a little more than half with dairy products. Traditional harvesting technologies cannot provide a sufficient amount of highly nutritious fodder, mainly due to significant losses during the implementation of technological operations. One of the ways to increase the intensity of fodder production is the fractional harvesting of high-protein green plants with the allocation of protein-vitamin concentrate as the main type of fodder. The analysis of the latest research and publications showed that currently there are no single, scientifically based recommendations regarding the rational set of machines and mode parameters of their operation when implementing this technology. Based on the results of previous studies, an experimental set of machines was formed to implement the technology of wet fractionation of alfalfa. The technological*

*scheme includes such lines as dosing, disintegration (shredding) and wet fractionation of green plants, a line for coagulation of green juice, a line for separating the suspension obtained as a result of coagulation, a line for drying vegetable protein-vitamin concentrate and making pellets from it. Modeling the operation of the specified complex of machines allowed to determine the rational parameters of the operation of most of them, to outline the ways of further improvement of the nomenclature of machines, their location in technological lines, etc. For example, to increase the productivity of the filtration operation of the suspension obtained after coagulation of the green juice of alfalfa, it is advisable to direct it to special tanks for settling before sending it to the filter press, which will allow to increase the output of the protein-vitamin concentrate after filtering. The conducted modeling of the experimental complex of machines for the implementation of the fractional technology of harvesting alfalfa with the production of protein-vitamin concentrate showed the prospects of this technology for the development of the fodder industry.*

**Key words:** alfalfa, wet fractionation, protein coagulation, grinding, drying.

#### Відомості про авторів

**Твердохліб Ігор Вікторович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри загальнотехнічних дисциплін та охорони праці Вінницького національного аграрного університету: м. Вінниця, вул. Сонячна 3, ВНАУ, 21008, e-mail: [igor\\_tverdokhlib@yahoo.com](mailto:igor_tverdokhlib@yahoo.com).

**Солона Олена Василівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри загальнотехнічних дисциплін та охорони праці Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008, e-mail: [solona\\_o\\_v@ukr.net](mailto:solona_o_v@ukr.net)).

**Полевода Юрій Алікович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологічних процесів та обладнання переробних і харчових виробництв Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: [vinyura36@gmail.com](mailto:vinyura36@gmail.com)).

**Холодюк Олександр Володимирович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри агроінженерії та технічного сервісу Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна).

**Tverdokhlib Igor** – candidate of technical sciences, associate professor of the department of general technical disciplines and occupational safety, Vinnytsia National Agrarian University: Vinnytsia, st. Sonyachna 3, VNAU, 21008, e-mail: [igor\\_tverdokhlib@yahoo.com](mailto:igor_tverdokhlib@yahoo.com).

**Solona Olena** – Candidate of Technical Sciences (*Ph. D in Engeneering*), Associate Professor of the Department of General Technical Disciplines and Labor Protection, Vinnytsia National Agrarian University (3, Solnyschaya St., Vinnytsia, Ukraine, 21008, e-mail: [solona\\_o\\_v@ukr.net](mailto:solona_o_v@ukr.net)).

**Polievoda Yurii** – PhD, Associate Professor of the Department of technological processes and equipment for processing and food production, Vinnytsia National Agrarian University (Sonyachna st., 3, Vinnytsia, 21008, Ukraine, e-mail: [vinyura36@gmail.com](mailto:vinyura36@gmail.com)).

**Kholodyuk Oleksandr** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Agroengineering and Technical Service of Vinnytsia National Agrarian University (Solnechnaya St., 3, Vinnytsia, 21008, Ukraine).